



Eletricidade e magnetismo

Prof. Bruno Suarez Pompeo

Descrição

Você vai estudar eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo por meio da eletrostática, da eletrodinâmica e de ondas eletromagnéticas.

Propósito

É fundamental para um profissional nas áreas científica e tecnológica entender os principais conceitos de eletromagnetismo e suas aplicações na engenharia. Isso é especialmente importante devido ao crescente uso da eletrônica e da automação na vida cotidiana da sociedade.

Objetivos

Módulo 1

Eletrização e eletrostática

Reconhecer os processos de eletrização e conceitos de eletrostática.

Módulo 2

Circuitos elétricos resistivos

Reconhecer o funcionamento de circuitos elétricos resistivos.

Módulo 3

Magnetismo e eletromagnetismo

Identificar conceitos e leis que regem o magnetismo e o eletromagnetismo.



Introdução

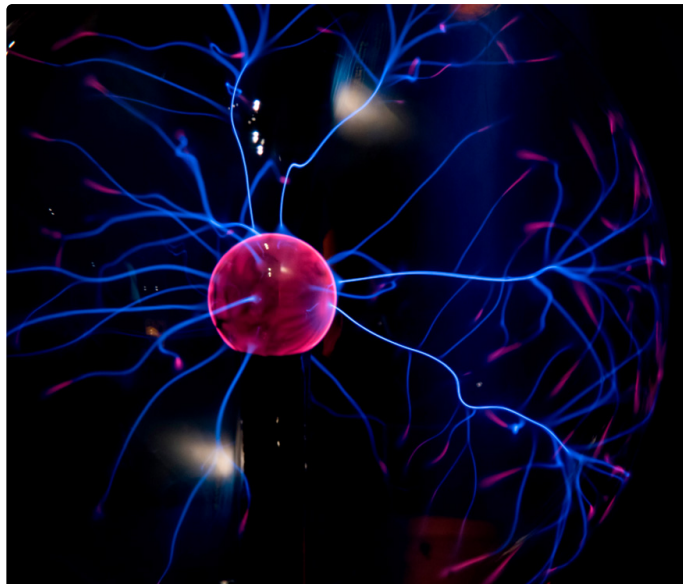
Estudaremos a eletricidade por meio do conceito básico de carga elétrica. Em seguida, discutiremos formas de carregar corpos com carga elétrica, ou seja, eletrizá-los. A partir daí, estaremos aptos a estudar os efeitos dessas cargas elétricas e os fenômenos associados a elas, como a eletricidade.

Por último, além de discutirmos os efeitos magnéticos existentes em materiais naturais e artificiais, também faremos uma breve apresentação dos fenômenos eletromagnéticos, ou seja, a interação entre a eletricidade e o magnetismo, e veremos juntos que diversas aplicações práticas do nosso cotidiano estão relacionadas à tal interação.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

[Download material](#)



1 - Eletrização e eletrostática

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer os processos de eletrização e conceitos de eletrostática.

Eletrostática

Atração e repulsão de corpos

No que diz respeito aos fenômenos elétricos que ocorrem na natureza, Tales de Mileto observou no ano 600 [AEC](#) que, ao atritar determinado tipo de material fóssil (o âmbar) com tecidos ou pele de animal, ele atraía para si pequenos pedaços de palha e pequenas penas de pássaros.

AEC

O uso das siglas AEC (antes da Era Comum) e EC (Era Comum) tem como objetivo uma escrita inclusiva, sem distinção de crença ou cultura. São equivalentes aos termos antes de Cristo (a.C.) e depois de Cristo (d.C.).

O âmbar é um tipo de resina fóssil constituído por certo gênero de seiva vegetal petrificada. A palavra âmbar em grego é escrita como *elektron*, sendo daí oriundas as palavras elétron e eletricidade.

Por mais de 2000 anos, o estudo de fenômenos elétricos ficou restrito às observações de Tales de Mileto até que, em 1600, o físico e médico **William Gilbert** publica um livro no qual há constatações quanto ao uso do âmbar com outros materiais.



Pedaços de âmbar.

Pouco mais de um século depois, por volta de 1730, o inglês **Stephen Gray** chegou à conclusão de que essa propriedade de atrair ou repelir partículas também pode ser transferida de um corpo para o outro por meio de contato, visto que, até então, acreditava-se que tal propriedade de atração ou repulsão só poderia ser obtida por meio de atrito.

Nesse mesmo período, **Charles François du Fay** fez um experimento diferente, no qual, inicialmente, uma fina folha de ouro era atraída por um bastão de vidro atritado e, ao encostar esse bastão na folha, ela passava a se repelir.

Veja a seguir um imagem do século XVII que apresenta o experimento de Stephen Gray. Observe que um menino preso por fios não condutores de eletricidade é eletrizado, atraindo pequenos pedaços de papel.

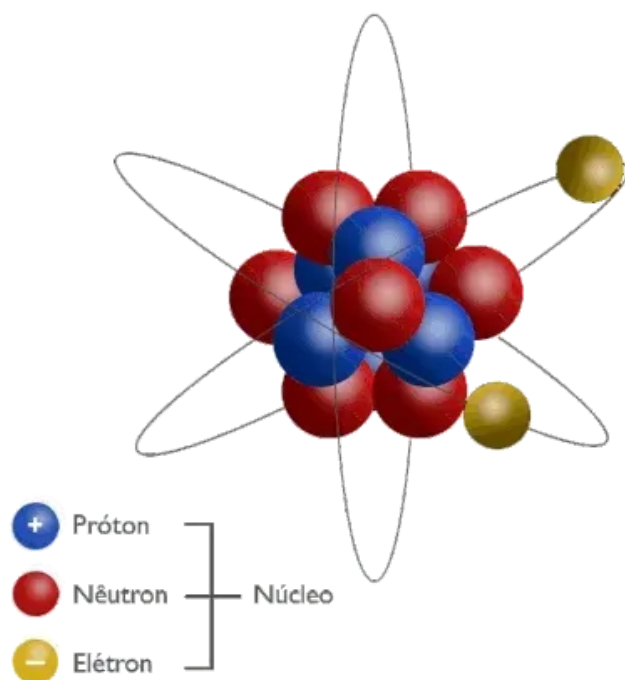


Experimento de Stephen Gray.

Neste conteúdo, estudaremos os fenômenos que ocorrem quando partículas estão eletricamente carregadas e em repouso em relação a determinado sistema de referência inercial.

Os processos de atração e repulsão de corpos que foram apresentados se devem a uma propriedade que está diretamente ligada a duas partículas elementares de um átomo: os prótons e os elétrons.

Um átomo é basicamente constituído de um núcleo, onde encontramos os prótons e nêutrons e, ao redor do núcleo, existe uma região denominada eletrosfera, onde movem-se outras partículas denominadas elétrons, como na animação a seguir.



Esquema animado de um átomo, prótons na cor azul, nêutrons em vermelho e elétrons em amarelo.

Conforme apresentado no modelo atômico, vemos que os elétrons estão constantemente ligados ao núcleo de algum modo.



Pensando no modelo atômico, você sabe por que os elétrons estão constantemente ligados ao núcleo?

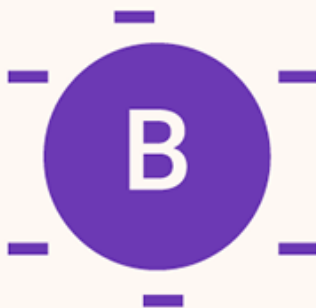
Resposta

Simples! Porque os opostos **se atraem**. Por convenção, dizemos que os prótons possuem carga elétrica positiva e que os elétrons possuem carga elétrica negativa.

Confira nas imagens a seguir a representação de corpos carregados positiva e negativamente.



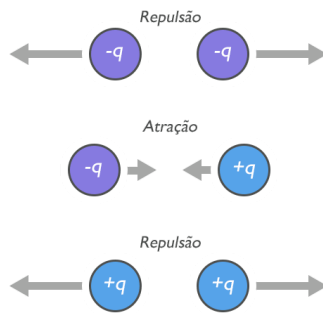
Corpo positivo



Corpo negativo

Conforme o experimento de Du Fay nos mostra, cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem. A partir desse resultado obtido experimentalmente, podemos apresentar o primeiro princípio da eletrostática: Cargas elétricas de mesmo sinal **se repelem** e cargas de sinais opostos **se atraem**.

Para visualizar melhor, observe a seguinte animação!



Representação da atração e repulsão.

Em valor absoluto, as cargas do próton e do elétron são **iguais**.

Tal valor é a chamada **carga elementar**, representada pela letra **e**.

Carga elementar (e)

A carga elementar recebe esse nome devido ao fato de não conseguirmos encontrar uma quantidade menor de carga elétrica na natureza.

Além disso, todas as outras cargas são múltiplos inteiros dela, ou seja, a carga elétrica é uma grandeza quantizada. A carga elementar apresenta um valor muito pequeno, obtido (com a experiência da gota de óleo) pela primeira vez pelo físico Robert Andrews Millikan e vale:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} C$$

Com isso e com as convenções adotadas, temos:

Carga do próton

$$+e = +1,6 \cdot 10^{-19} C$$

Carga do elétron

$$-e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$$

O nêutron **não** possui carga elétrica. Como a carga elétrica de um corpo é sempre um múltiplo inteiro da carga elementar (quantização), então sua carga (Q) será sempre dada por:

$$Q = \pm n \cdot e$$

A carga elétrica, bem como toda grandeza física, tem uma unidade de medida, sendo que a partir do Sistema Internacional de Unidades (SI) utilizamos uma unidade derivada, chamada Coulomb (C), em

homenagem a Charles Augustin de Coulomb, que contribuiu muito para o estudo de interações elétricas entre os corpos.

Princípio da conservação de cargas elétricas

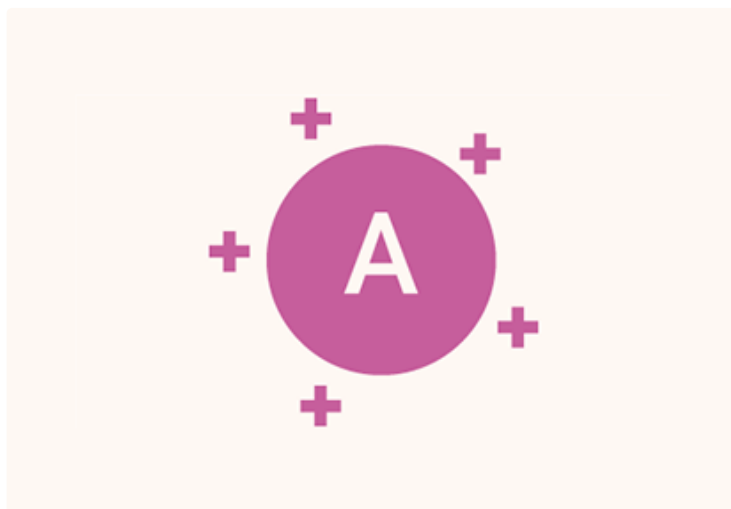
A carga elétrica, assim como a massa, é algo próprio das partículas elementares, não podendo ser alterada, isto é, não se pode adicionar ou remover massa e/ou carga a essas partículas. Agora, confira e entenda!

A quantidade total de cargas contida em um conjunto de corpos é mantida sempre constante.

A partir daí, podemos enunciar o princípio da conservação de cargas da seguinte forma: em um sistema isolado, a soma algébrica das cargas positivas e negativas é sempre constante.

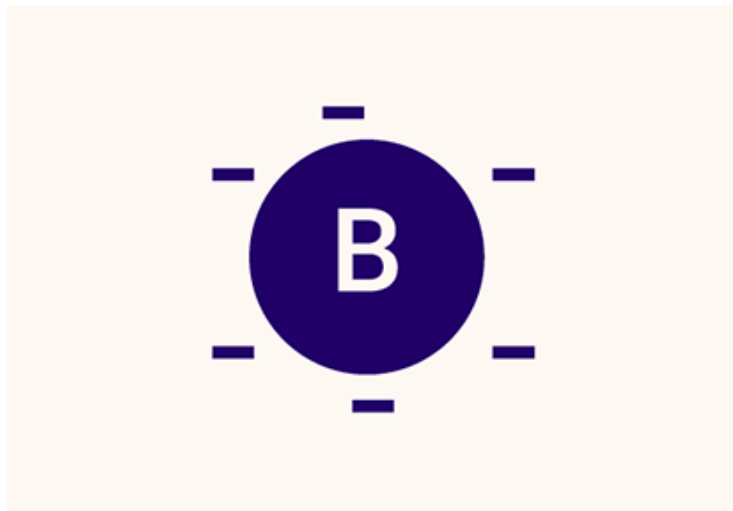
O sistema isolado é um sistema em que não há interação com determinado meio exterior. Esse princípio nos diz que, por mais que haja troca de cargas entre corpos dentro desse sistema isolado, a soma delas não será alterada.

Para exemplificar tal princípio, considere o seguinte sistema constituído por dois corpos A e B quaisquer, carregados. Inicialmente, o corpo A tem carga $+10C$ e o corpo B carga $-6C$. Veja!



Corpo A

$+10C$



Corpo B

-6C

A soma algébrica das cargas existentes nos dois corpos vale:

$$\sum Q_{\text{início}} = Q_A + Q_B = (+10) + (-6) = +4C$$

Agora, pensando no mesmo exemplo (corpo A +10C e corpo B -6C) suponha que de alguma forma, mediante um processo qualquer, haja transferência de cargas entre eles. A soma final não poderá ser diferente de +4C. A soma algébrica das cargas existentes nos dois corpos vale:

$$\sum Q_{\text{final}} = Q_A^1 + Q_B^1 = (+5) + (-1) = +4C$$

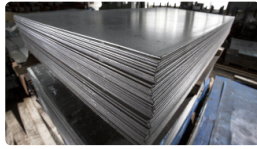
O que aconteceu nesse caso? Cargas positivas migraram para B, cargas negativas migraram para A ou as duas coisas? Em situações em que há transferência de cargas entre corpos, o fluxo sempre será de **cargas negativas**.

Comentário

Para fins didáticos, no intuito de facilitar a compreensão de um evento, algumas vezes pode ser dito que cargas positivas migraram para determinado local, no entanto essa afirmação está fisicamente equivocada.

Condutores e isolantes

Em determinados corpos, existe uma grande facilidade dos elétrons se movimentarem, enquanto em outros eles estão mais fixos. Veja e compare o nome e os tipos de materiais encontrados com essas características.



Condutores elétricos

É o nome dado aos corpos em que os elétrons têm mais liberdade de movimentação.

Os metais costumam ser bons condutores elétricos.



Isolantes elétricos ou dielétricos

É o nome dado aos corpos em que os elétrons têm menor mobilidade.

Ar, vidro, borracha, porcelana e algodão costumam ser bons isolantes elétricos.

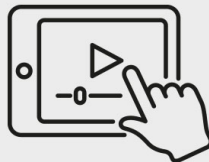
Corpo neutro, assim como qualquer corpo, possui cargas. No entanto, em um corpo neutro, a quantidade de prótons é **igual** à quantidade de elétrons.



A natureza elétrica dos raios

Acompanhe neste vídeo uma das experiências realizadas por Benjamin Franklin sobre a natureza elétrica dos raios.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Como se formam os raios? Bem, a resposta simplificada sobre isso entra no conceito visto anteriormente de condutores e isolantes.



Raio em cidade no céu noturno.

Como se sabe, o ar é um meio isolante, ou seja, não conduz eletricidade. No entanto, essa capacidade de isolamento não é ilimitada, pois o isolamento elétrico ocorre até certo ponto.

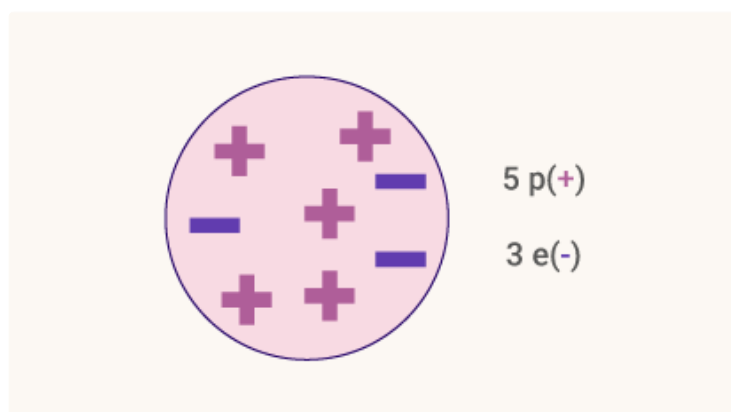
Quando esse limite é ultrapassado, ocorre a chamada ruptura dielétrica ou ruptura do isolante. Uma vez iniciada essa ruptura no ar, observamos o fenômeno das descargas atmosféricas, popularmente conhecidas como raios.

Processos de eletrização

Eletrização por atrito

Primeiramente, o que é eletrização? Você consegue explicar com base no que já falamos sobre cargas elétricas? Eletrização é o processo pelo qual um corpo neutro passa a ficar carregado, ou seja, ter mais prótons que elétrons (carga positiva) ou ter mais elétrons do que prótons (carga negativa).

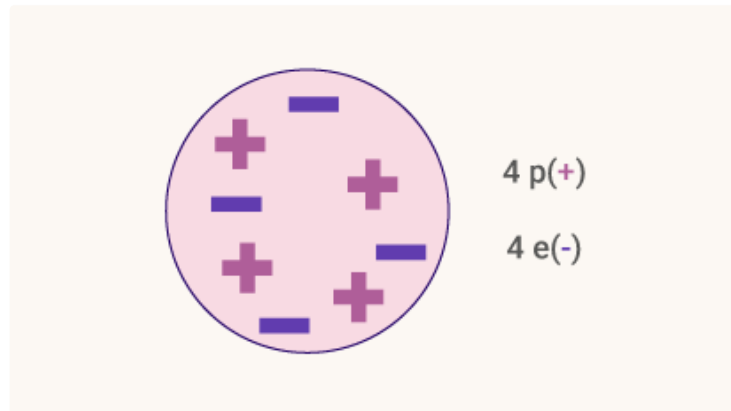
Mas, o que seria um corpo neutro? Ora, um corpo neutro é aquele que possui quantidades **iguais** de prótons e elétrons. Confira a seguir as formas que um corpo eletricamente pode ter.



Corpo eletricamente positivo

$$N_{\text{PRÓTONS}} > N_{\text{ELÉTRONS}}$$

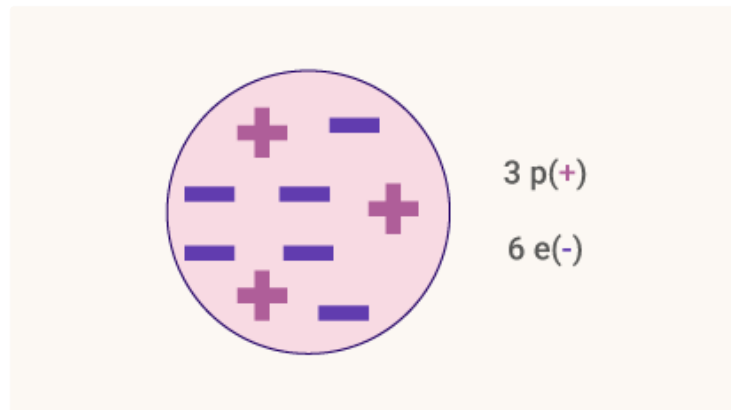
Exemplo: 5 prótons e 3 elétrons.



Corpo eletricamente neutro

$$N_{\text{PRÓTONS}} = N_{\text{ELÉTRONS}}$$

Exemplo: 4 prótons e 4 elétrons.



Corpo eletricamente negativo

$$N_{\text{PRÓTONS}} < N_{\text{ELÉTRONS}}$$

Exemplo: 3 prótons e 6 elétrons.

Tanto os condutores quanto os isolantes podem adquirir carga elétrica, porém, no caso do isolante, a carga elétrica adquirida não sai da posição em que ela foi colocada. Já nos condutores, a carga elétrica tende a se distribuir por toda a superfície.

Veja agora alguns fatos interessantes a respeito do processo de eletrização por atrito.

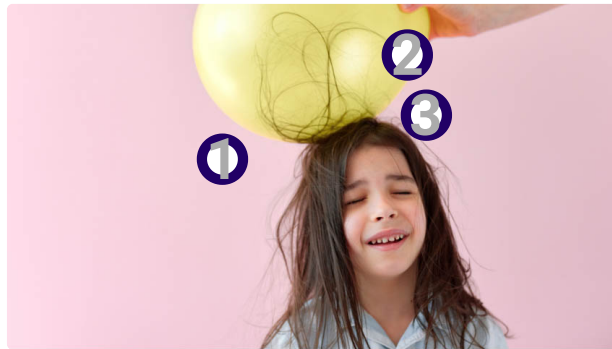
- É o processo de eletrização mais antigo que se tem conhecimento;
- Ele data dos estudos com o âmbar, feitos por Tales de Mileto no século VI AEC;
- Esse processo baseia-se em atritar dois corpos neutros feitos de diferentes materiais, havendo, assim, a transferência de elétrons de um corpo para o outro.

Se um dos corpos estiver carregado, ocorrerá a transferência de carga de um para o outro, valendo, assim, a conservação de cargas entre eles. Após atritarmos os corpos, eles apresentarão cargas de **mesmo módulo** e **sinais opostos**.

Observe um exemplo de eletrização por atrito!



Toque nos pontos em destaque.



Exemplo de eletrização por atrito utilizando cabelo e uma bexiga inflável.

Antes de aplicar atrito

Tanto a bexiga quanto o cabelo estão com cargas elétricas neutras.

Bexiga após aplicar atrito

Após criar atrito, a bexiga fica com excesso de cargas negativas.

Cabelo após aplicar atrito

Após criar atrito, o cabelo fica com excesso de cargas positivas.

Outro exemplo de eletrização por atrito é esfregar um pedaço de ebonite neutra com um lenço de seda igualmente neutro. Após o atrito entre os dois, a seda adquire carga positiva enquanto a ebonite acumula excesso de cargas negativas.

Curiosidade

Ebonite é uma borracha com excesso de enxofre obtida a partir de um processo químico denominado vulcanização, sendo usado em cabos de panela e invólucros de interruptores e tomadas.

Série triboelétrica é a tabela que apresenta de modo ordenado os materiais que, quando atritados, ficam carregados positivamente e os

que ficam negativamente carregados. Além disso, o termo triboeletrização significa eletrização por atrito.

A tabela a seguir mostra a relação de elementos que, ao serem atritados, ficam carregados positivamente e quais ficam carregados negativamente.

Série triboelétrica	
pele de coelho	
vidro	
cabelo humano	
mica	
lã	
pele de gato	
seda	
algodão	
âmbar	
ebonite	
poliéster	
isopor	
plástico	

Tabela: Série triboelétrica.
Bruno Suarez Pompeo

Veja o que acontece em dois casos presentes na tabela!

Ao atritarmos algodão com pele de coelho

Como o algodão está mais abaixo na tabela em comparação com a pele de coelho, o algodão fica negativamente eletrizado, enquanto a pele de coelho fica positivamente eletrizada.

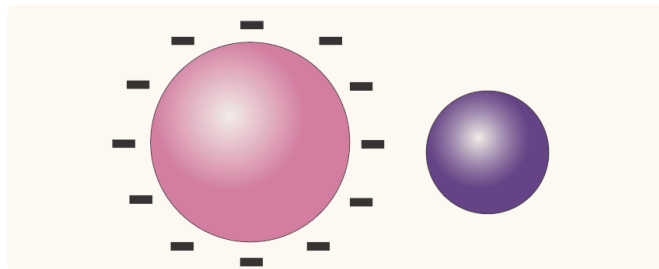
Ao atritarmos lã com plástico

Como a lã está mais acima na tabela, após atritar, ela fica eletrizada positivamente, enquanto o plástico, que está mais abaixo na tabela, fica negativamente eletrizado.



Eletrização por contato

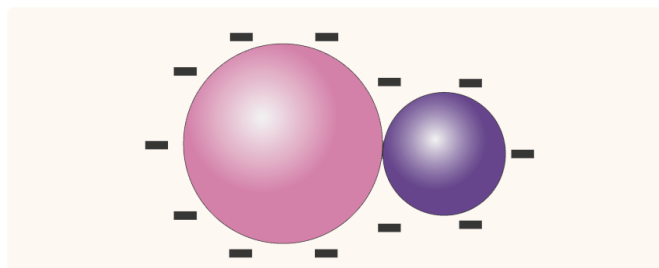
Ao se colocar dois ou mais condutores em contato, estando pelo menos um deles eletrizado, ocorre uma transferência de elétrons entre eles, fazendo valer, assim, o princípio de conservação de cargas. Veja como acontece!



Representação do princípio de conservação de cargas.

Primeira fase

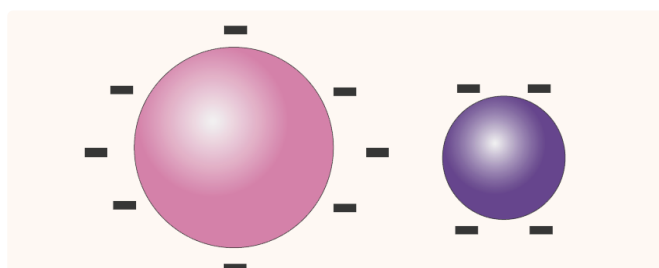
Nessa fase temos um corpo carregado negativamente e um corpo neutro.



Representação do princípio de conservação de cargas.

Segunda fase

Nessa fase, os corpos estão em contato, havendo, assim, um fluxo de elétrons para o corpo neutro.



Terceira fase

Nessa fase, ao separarmos os corpos, ambos estão carregados, sendo somatório das cargas na primeira fase igual à soma das cargas dos dois corpos na terceira fase.

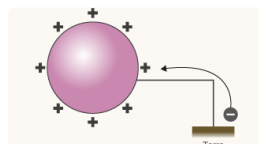
A carga adquirida por cada um dos corpos depende diretamente da sua geometria e de uma propriedade denominada capacitância. Se os corpos forem idênticos, as cargas ficarão igualmente distribuídas, ou seja, cada um ficará com metade da carga inicial do corpo eletrizado.

Eletrização por indução

Antes de falarmos sobre o processo de eletrização por indução, é importante conhecer o processo de aterramento, também chamado de ligação com a terra.

Ligação com a terra (aterramento)

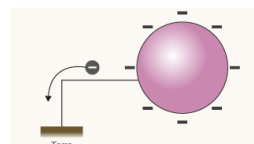
Como veremos mais adiante ao discutirmos o potencial elétrico, quando conectamos um condutor carregado à terra, ele se neutraliza. Compare os dois exemplos!



Aterramento de um corpo carregado positivamente

Caso o condutor tenha mais prótons que elétrons (carregado positivamente), ao ser ligado a terra, receberá um fluxo de elétrons suficiente para neutralizá-lo.

×



Aterramento de um corpo carregado negativamente

Como o corpo está carregado negativamente (ou seja, mais elétrons que prótons), ocorrerá um fluxo de elétrons para a terra suficiente para neutralizá-lo.

Qual a aplicação disso? O aterramento é de suma importância em atividades cotidianas.

Por exemplo, no processo de abastecimento, aviões são conectados a terra para que possíveis cargas existentes em sua carcaça metálica externa sejam escoadas, evitando, assim, pequenas descargas elétricas que poderiam levar a uma explosão do combustível que está sendo depositado nos tanques.



Avião durante abastecimento.

Em caminhões que transportam combustíveis para os postos de gasolina, antes de iniciar o descarregamento do combustível no tanque do posto, o terminal da mangueira (que é metálico) é encaixado na boca (também metálica) do tanque.



Caminhão abastecendo reservatório de posto de gasolina.

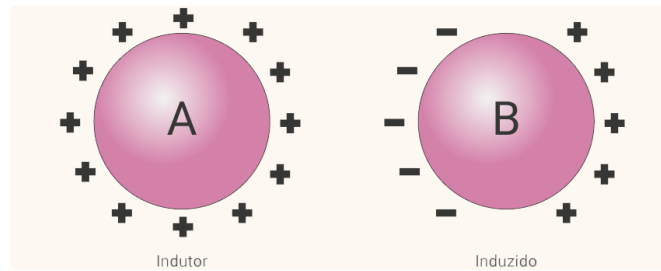
Como o caminhão estava em movimento, sua parte externa se eletriza devido ao atrito com o ar (eletrização por atrito).

Dessa forma, há necessidade de fazer um aterramento desse reservatório. Somente após essa operação (medida de segurança) é realizado o abastecimento do posto, para evitar uma possível explosão.

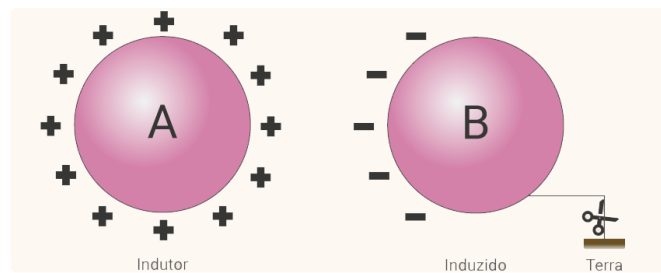
Sabendo agora o que é aterramento, podemos voltar ao processo de eletrização por indução.

Esse processo ocorre quando aproximamos um condutor eletricamente carregado (chamado de indutor) a um condutor neutro (induzido), provocando uma redistribuição de suas cargas.

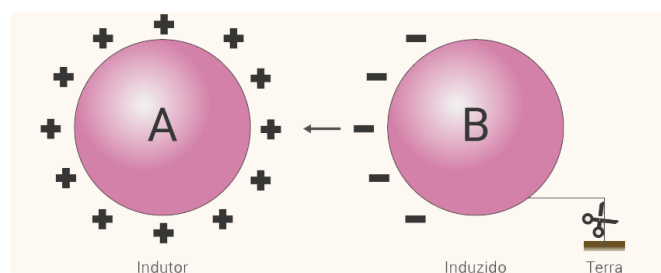
Após isso, se quisermos que o corpo neutro passe a ficar carregado, basta fazer uma ligação dele com a terra (aterramento). Com isso, iremos deixar o corpo induzido carregado com sinal oposto ao do indutor. Veja a sequência de imagens que ilustra o que acabamos de explicar.



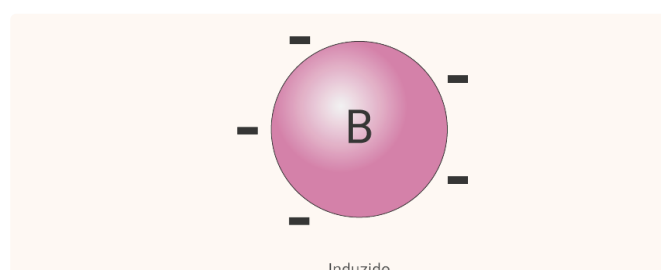
Ao aproximarmos o corpo A (carregado positivamente) do corpo B (inicialmente neutro), este irá formar dois centros de carga em B, um negativo (mais próximo de A) por atração e outro positivo do outro lado, causado pela repulsão.



Ao ligarmos o condutor B a terra, as cargas que estão sendo atraídas não serão capazes de interagir com a terra (há uma forte ligação entre elas e as cargas no corpo A). Já as cargas positivas, repelidas por A (à direita de B), vão interagir com a terra, neutralizando essa parte do corpo B.



Após retirar a ligação de B com a terra, ocorre o afastamento do indutor.



Por fim, temos o condutor B induzido negativamente. A mesma ideia vale se o indutor estiver negativamente carregado.

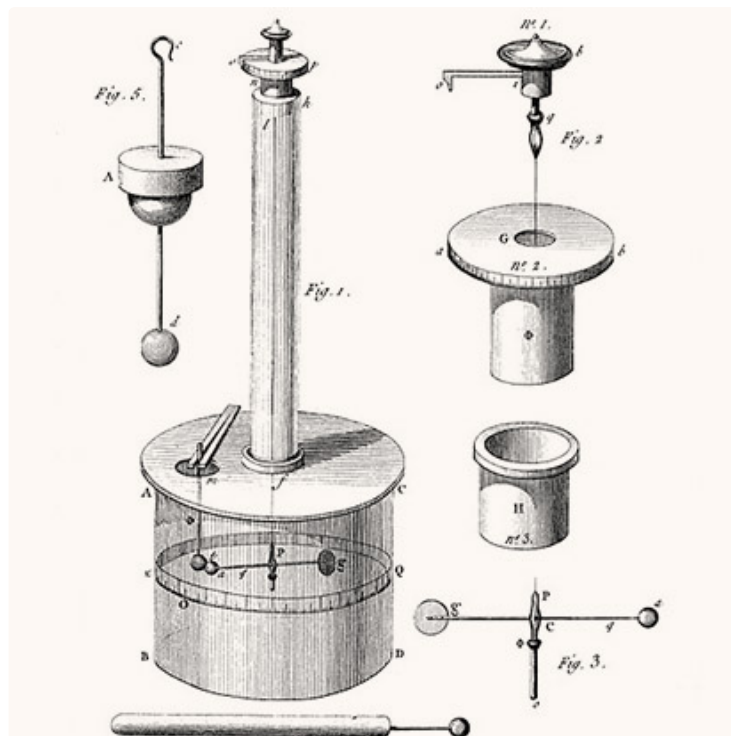
Eletrização

Força elétrica

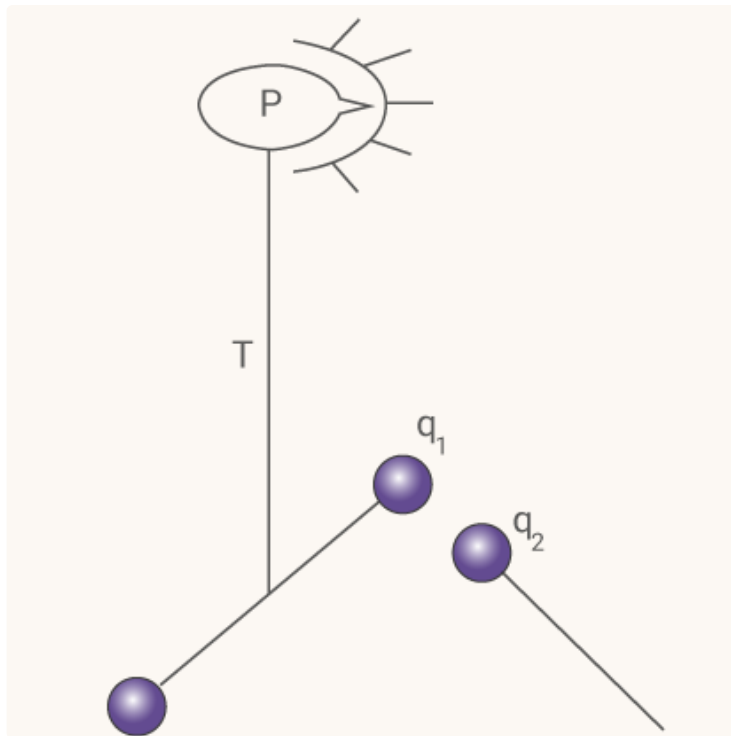
Se você chegou até aqui e entendeu perfeitamente os conceitos abordados, chegou a hora de aprender como as cargas se atraem ou se repelem. Dando continuidade ao nosso conteúdo, falaremos agora de força elétrica, que está diretamente relacionada com a Lei de Coulomb.

Em 1785, Charles Augustin Coulomb realizou seu experimento com uma balança de torção cujo objetivo era bem definido: obter a lei que rege a força entre partículas eletricamente carregadas.

As imagens a seguir ilustram um exemplo de balança de torção utilizada por Coulomb para determinar a lei de interação entre cargas elétricas.



Balança de torção de Coulomb.



Esquema do experimento.

Esse instrumento de medição foi criado por Coulomb e por John Mitchell (sendo utilizado posteriormente por Cavendish para obter a constante da gravitação universal).

Ele é composto por uma haste isolante com duas pequenas esferas metálicas nas pontas, sendo suspensa por um fio fino ligado a um ponteiro, que por meio do torque (momento) realizado pela interação entre as cargas faz com que essa haste gire. A partir da indicação angular dada pelo ponteiro, Coulomb foi capaz de obter a força de interação entre as cargas elétricas.

Conforme o esquema visto, uma das esferas é carregada com carga q_1 e aproxima-se dela uma carga q_2 , situada sobre o círculo gerado pela rotação da haste em torno do eixo.

Em outras palavras, sendo Q e q as cargas das partículas e d a distância entre elas, a força eletrostática (de ação ou repulsão) é dada por:

$$F_{\text{elétrica}} = K \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

Sendo K uma constante de proporcionalidade, que depende do meio em que as cargas estão situadas. No vácuo, temos:

$$K \cong 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Pela 3ª Lei de Newton, as forças que atuam em Q e q têm a **mesma intensidade**, a mesma direção e sentidos opostos, além de constituírem

um par ação e reação.

Graficamente, temos que a força elétrica em função da distância é dada por um gráfico como este:

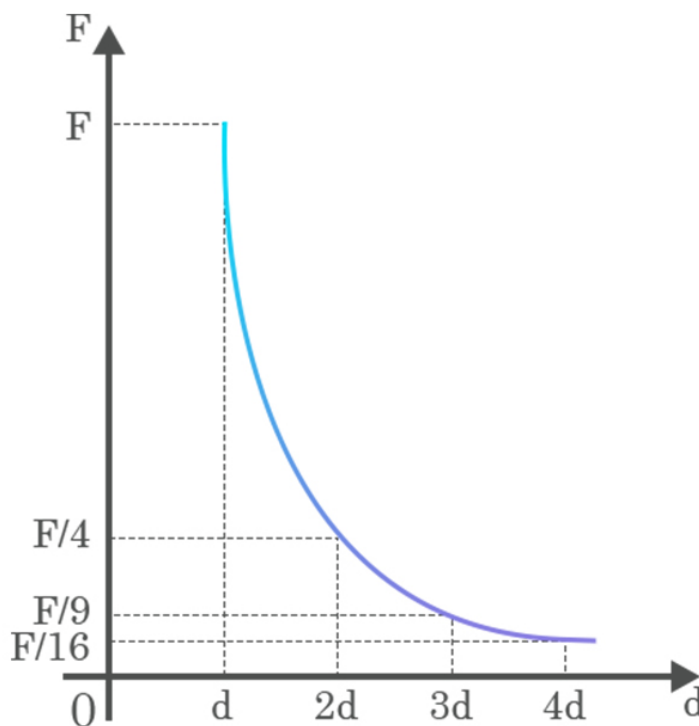


Gráfico da força elétrica em função da distância.

Vale lembrar que cargas de mesmo sinal criam forças de repulsão e cargas de sinais contrários criam forças de atração.



Campo elétrico

Anteriormente, vimos a força de natureza eletrostática existente entre duas partículas carregadas. Consideramos que se trata de uma força de ação a distância, ou seja, as cargas não estão em contato e mesmo assim há força.



Você sabe o que é uma força de ação a distância?

Resposta

É uma força existente mesmo quando não ocorre contato entre corpos, sendo causada pela ação de um campo de força.

Albert Einstein define **campo** como uma alteração das características do ambiente, seja pela presença de uma massa (gravidade ou campo gravitacional), de uma carga elétrica, e conforme veremos futuramente, também por ação magnética. Porém, o que nos interessa no momento é a ação causada por uma carga elétrica e, conseqüentemente, campo elétrico.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial gerada por uma carga qualquer no espaço.

Como conseguimos descobrir se existe um campo elétrico em uma região? A resposta é simples. Usamos uma carga de prova. Se houver campo elétrico na região, a carga ficará sujeita à ação de uma força elétrica.

Considere as etapas a seguir.



Seja P um ponto do espaço em que existe um campo elétrico.



Nesse ponto, não existe inicialmente nenhuma carga elétrica.



Ao colocarmos uma carga de prova q nesse ponto do espaço, sobre essa carga agirá uma força elétrica $\vec{F}$.

Fazendo o mesmo experimento com cargas diferentes, serão observadas forças de intensidades diferentes e sentidos iguais ou contrários ao da carga anterior, dependendo do sinal da carga e da quantidade de carga contida nela.

A razão entre os vetores força e os módulos das cargas nos fornece uma grandeza vetorial que tem sempre a direção da força. A essa grandeza damos o nome de vetor **campo elétrico**.

Assim, podemos definir o campo elétrico como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

E sua unidade, no SI, é dada por N/C.

Direção e sentido do vetor campo elétrico

Com base na definição de campo, podemos escrever que:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Ou seja, o vetor Força é dado pelo produto de um número real (carga elétrica) e um vetor (campo elétrico), logo, é fácil concluir que $\vec{E}$ tem mesma direção que $\vec{F}$.

Para uma carga puntiforme (dimensões muito pequenas), podemos achar o campo gerado por elas usando a Lei de Coulomb, ou seja:

$$F_{\text{elétrica}} = K \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2} = E \cdot |q| \Rightarrow E = K \frac{|Q|}{d^2}$$

Quanto ao sentido, existem duas possibilidades. Veja!

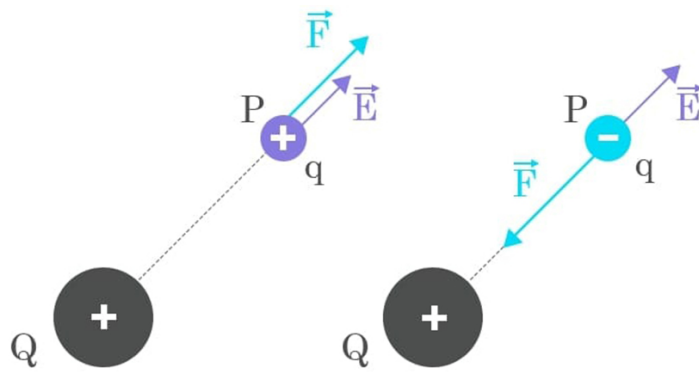
Primeira possibilidade

$q > 0 \Rightarrow \vec{E}$ e $\vec{F}$ têm mesmo sentido.

Segunda possibilidade

$q < 0 \Rightarrow \vec{E}$ e $\vec{F}$ têm sentidos opostos.

Ficou difícil de entender? Vamos conferir a imagem a seguir para um melhor entendimento!

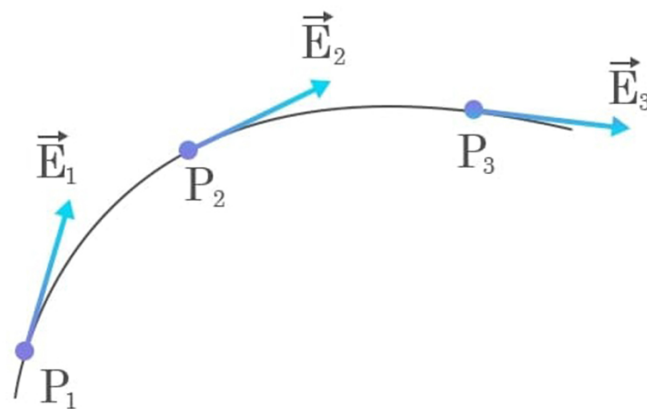


Representação dos vetores: Força elétrica $\vec{F}$, e campo elétrico $\vec{E}$.

Com base na imagem, quando inserirmos uma carga positiva no espaço, o vetor campo elétrico sempre aponta para fora dessa carga geradora de campo. De forma semelhante, podemos concluir que o sentido do campo gerado por uma carga negativa sempre aponta para a carga. Em outras palavras, se a carga geradora Q for positiva, o vetor campo é de afastamento, e se a carga geradora Q for negativa, o vetor campo é de aproximação. Entendendo isso, podemos definir outro conceito, chamado de **linhas de força**.

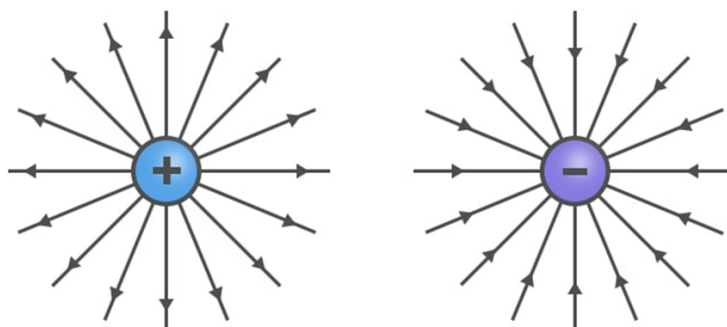
Linhas de força

São linhas que definem o campo elétrico em uma região, ou seja, o vetor campo elétrico é sempre tangente a essas linhas. Elas são usadas para indicar que em determinada região do espaço existe um campo elétrico e de que forma ele é definido. Veja!



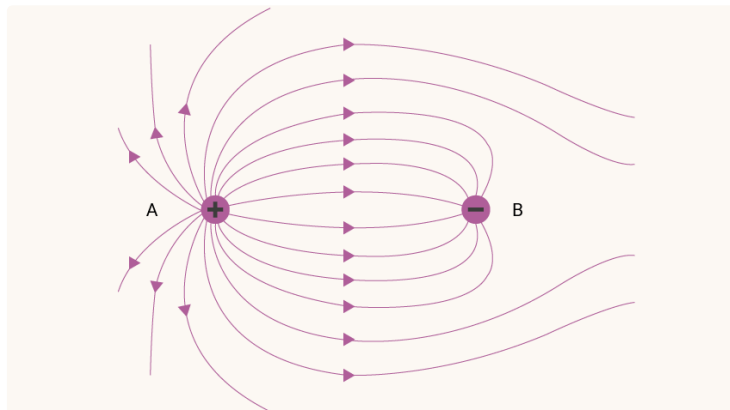
Representação de linhas de força.

Cargas puntiformes, positivas e negativas, geram linhas de força conforme mostrado a seguir, respectivamente.



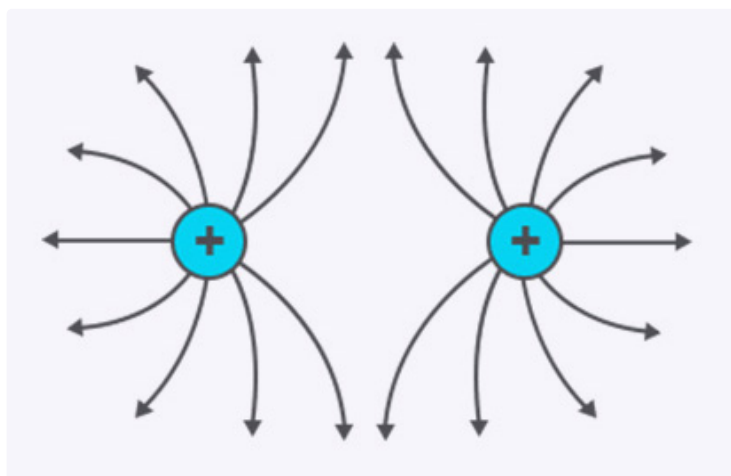
E continua valendo a regra: caso a carga geradora Q seja positiva, o vetor campo é de afastamento e caso a carga geradora Q seja negativa, o vetor campo é de aproximação.

Observe que, para dois corpos carregados, ocorre uma interação entre as linhas de força geradas por cada carga elétrica.

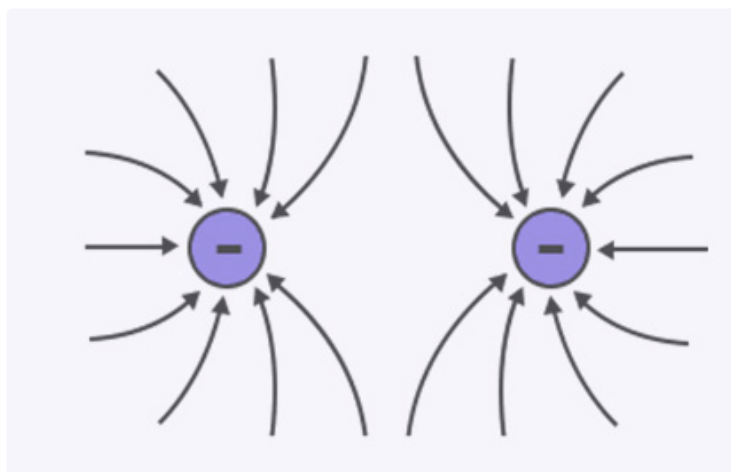


Representação da interação entre as linhas de força.

Para o caso de cargas de mesmo sinal, temos a representação gráfica a seguir.



Representação de cargas de sinal igual positivo.



Representação de cargas de sinal igual negativo.

Duas linhas de força nunca se cruzam, pois se isso ocorresse, nós teríamos dois vetores campo elétrico no mesmo ponto, gerando uma resultante vetorial. Essa resultante acarretaria a existência de uma terceira linha de força, o que não está condizente com a realidade.

Ao serem estabelecidas as condições de equilíbrio em um condutor, uma das propriedades mais importantes está no fato de que, no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo. Como exemplo prático, temos a blindagem eletrostática, conforme o experimento de Faraday, chamado de **gaiola de Faraday**.

Recomendação

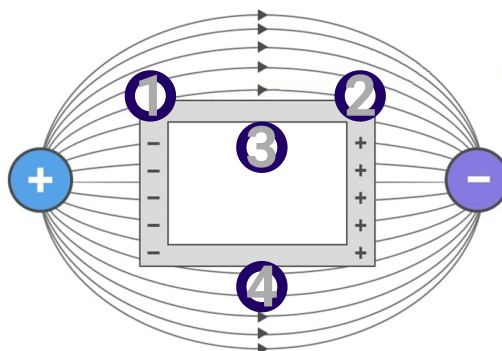
Pesquise na internet sobre o experimento que mostra as linhas de força em um campo elétrico gerado.



Gaiola de Faraday

Michael Faraday (1791-1867) foi um físico e químico inglês que estabeleceu diversas leis, como o processo de decomposição química por eletrização, a chamada **eletrólise**, além de diversos outros conceitos, como o de campo elétrico e campo magnético. Observe esse campo!

 Toque nos pontos em destaque.



Representação do campo elétrico.

Cargas elétricas negativas.

Cargas elétricas positivas.

Interior isento do campo elétrico externo.

Campo elétrico.

No ano de 1836, com o objetivo de provar na prática que o campo elétrico no interior de um condutor eletrizado é nulo, Faraday construiu uma grande caixa com telas metálicas e fez com que ela não tivesse nenhum contato elétrico com a terra, de forma a impedir fluxo de elétrons entre a caixa e o solo.

Utilizando diversos dispositivos de detecção de campo elétrico, ele permitiu que seus assistentes eletrizassem a caixa com uma carga de altíssima magnitude.

O resultado obtido por ele foi que nenhum dos seus aparatos de medição indicou a presença de campo elétrico no interior da caixa. Faraday, ao sair da caixa, afirmou que embora a caixa estivesse eletricamente carregada, não sentiu nada, provando, assim, a blindagem eletrostática.



Demonstração da gaiola de Faraday.

A gaiola de Faraday possui diversas aplicações práticas, conheça algumas!



Micro-ondas

Seu interior é revestido de forma adequada para garantir que as ondas eletromagnéticas de aquecimento permaneçam confinadas dentro do aparelho.



Automóveis

Comportam-se, em diversas situações, como uma gaiola de Faraday, criando um isolamento elétrico em seu interior.

Campo elétrico uniforme

Dizemos que um campo elétrico é uniforme quando, em todos os pontos do espaço, o campo elétrico possui a mesma intensidade, mesma direção e mesmo sentido, e suas linhas de força são dadas da seguinte forma:



Representação de um campo elétrico uniforme.

Geralmente, campos elétricos uniformes são produzidos por distribuições infinitas de carga, como nos planos infinitos carregados e no interior de fios condutores de eletricidade por meio de corrente elétrica contínua, conforme será visto mais à frente.

Potencial elétrico

Suponha dois corpos carregados eletricamente com cargas distintas. Independentemente do sinal dessas cargas, ao colocá-las em contato, ocorrerá um fluxo de elétrons entre elas até que se estabeleça o equilíbrio.

Nesse ponto, você pode se perguntar: o que garante o início e o término desse processo de troca de cargas? Para responder, veremos o conceito de **potencial elétrico**.

O potencial elétrico está associado à capacidade que um corpo carregado tem de atrair ou repelir outras cargas elétricas.

Posteriormente, discutiremos o conceito de diferença de potencial (ddp) ou tensão elétrica, ou voltagem, como é popularmente conhecida.

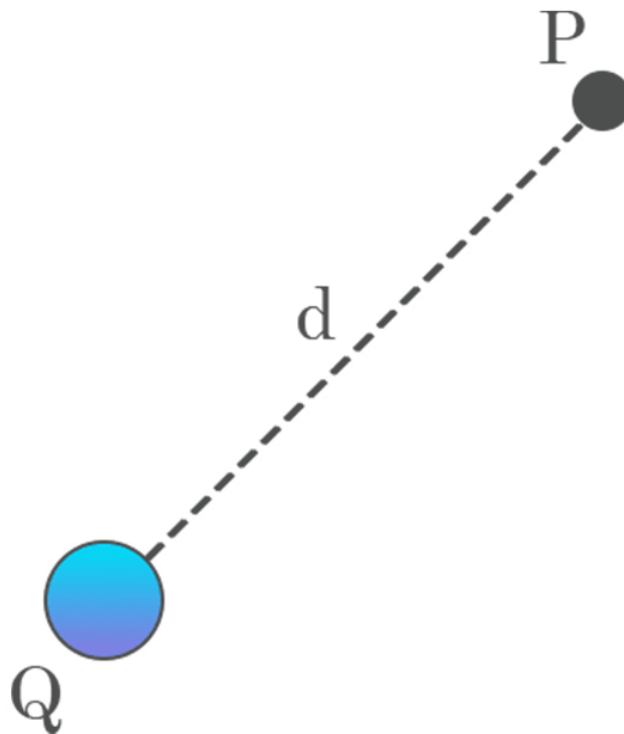
Quando o equilíbrio de um sistema de dois ou mais corpos se estabelece, dizemos que os potenciais elétricos de todos os corpos **se igualaram**, ou seja, a diferença de potencial entre eles é **nula**.

Atenção!

Na física, sempre que se menciona o potencial de uma grandeza, significa que essa grandeza está diretamente relacionada a alguma posição específica. No caso de potenciais elétricos, refere-se a um ponto no espaço em relação à presença de uma ou mais cargas elétricas.

Potencial elétrico coulombiano

Considere a imagem a seguir, em que uma carga pontual Q está a uma distância de dado ponto P .



Representação de um potencial elétrico coulombiano.

Dizemos que a carga Q gera no ponto P um potencial dado por:

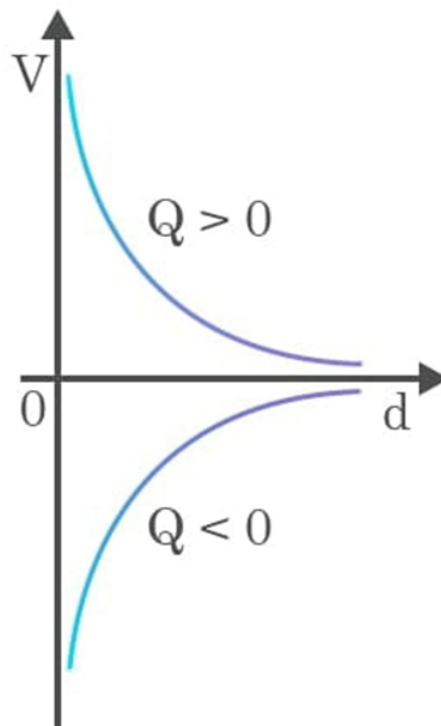
$$V = K \frac{Q}{d}$$

Sua unidade de medida de potencial elétrico é Nm/C ou V (volt), em homenagem ao físico Alessandro Volta, que dedicou grande parte de sua vida ao estudo da eletricidade, construindo a primeira bateria elétrica utilizando zinco e prata.

Atenção!

Para o potencial elétrico, usamos o valor da carga levando em conta o seu sinal. Ou seja, se a carga for negativa, gera um potencial negativo. Potencial elétrico, diferentemente de campo elétrico e força elétrica, não é uma grandeza vetorial!

Como podemos ver, o potencial depende do inverso da distância, logo, graficamente, a imagem formada é a chamada **hipérbole equilátera**.

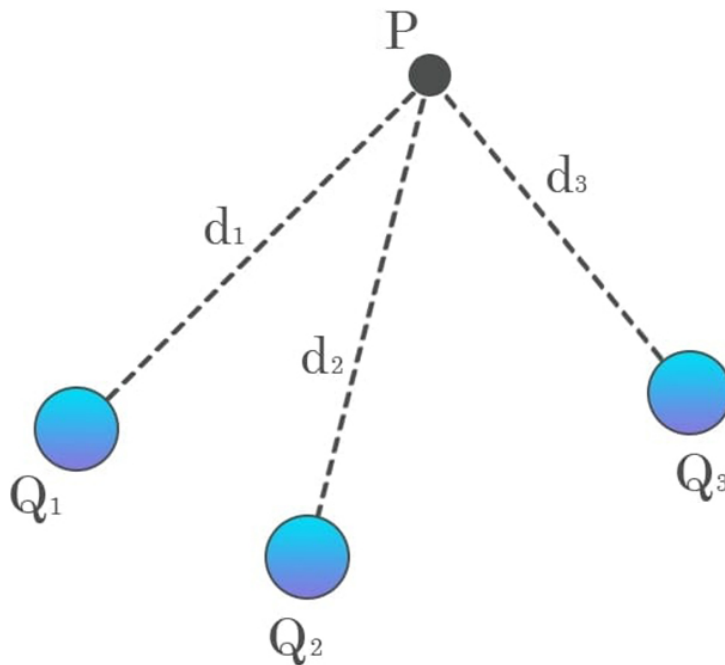


Hipérbole equilátera.

O potencial elétrico é considerado **zero** somente quando a distância for muito grande, em outras palavras, **infinita**.

Potencial criado por um conjunto de partículas (princípio da superposição)

Segundo um conjunto com mais de uma carga elétrica, dizemos que o potencial gerado pelas cargas em determinado ponto do espaço é dado pela soma dos potenciais gerados por cada carga individualmente naquele ponto, conforme visto a seguir.



Representação do potencial criado por um conjunto de partículas.

O potencial gerado no ponto P é dado por:

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 = K \frac{Q_1}{d_1} + K \frac{Q_2}{d_2} + K \frac{Q_3}{d_3}$$

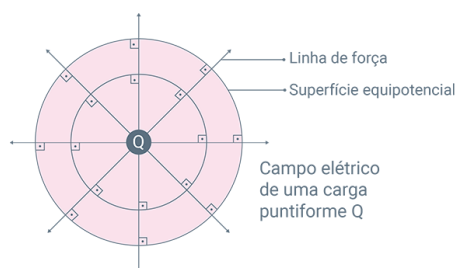
E se fossem mais cargas? Trata-se da mesma ideia, e teríamos:

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = K \frac{Q_1}{d_1} + K \frac{Q_2}{d_2} + K \frac{Q_3}{d_3} + \dots + K \frac{Q_n}{d_n} (n \geq 2)$$

Esse é o chamado **princípio da superposição** e pode ser usado também para encontrar um campo elétrico em determinado ponto do espaço causado por diversas cargas (lembrando que, no caso do campo elétrico, a soma é vetorial).

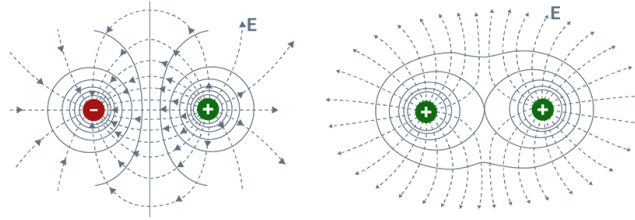
Regiões equipotenciais

São regiões do espaço que possuem mesmo valor de potencial elétrico. Veja alguns exemplos!



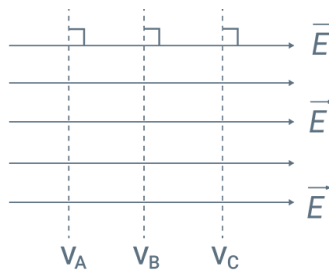
Representação da equipotencial gerada por uma única carga.

A equipotencial gerada por uma única carga é uma superfície esférica.



Representação das equipotenciais geradas por duas cargas.

As equipotenciais geradas por um conjunto de duas cargas.



Representação das equipotenciais geradas por linhas uniformes.

As equipotenciais geradas por linhas de campo elétrico uniforme.

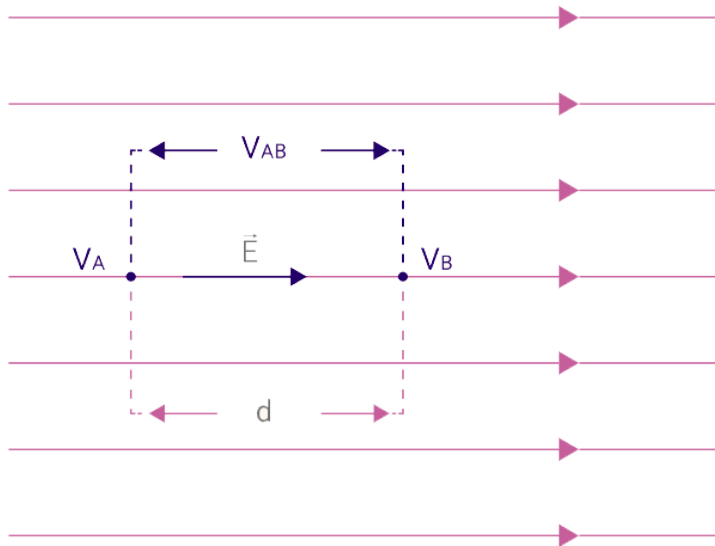
Podemos citar algumas propriedades interessantes do potencial elétrico:

- O **sentido** do campo elétrico é o **mesmo** dos potenciais decrescentes, ou seja, ao longo de uma linha de força e no sentido dela, o potencial elétrico decresce.
- As **superfícies equipotenciais** são sempre **perpendiculares** às linhas de campo. Consequentemente, são perpendiculares ao vetor campo elétrico em qualquer ponto.

Relação entre campo elétrico uniforme e diferença de potencial elétrico

A diferença de potencial entre dois pontos A e B , separados por uma distância d por $V_{AB} = V_A - V_B$

Observe na próxima imagem que o ponto A é o ponto inicial e o ponto B é o ponto de destino. A diferença de potencial, que chamaremos de ddp, não é uma variação. Confira!



Representação da diferença de potencial.

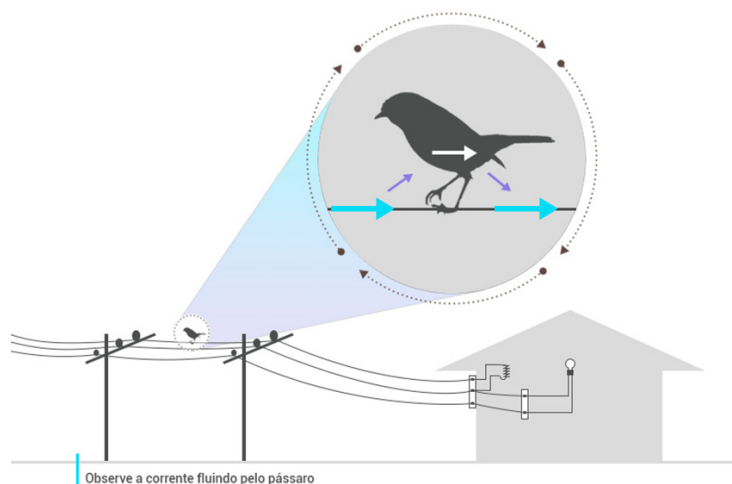
Podemos, então, estabelecer que a ddp entre dois pontos A e B em um campo elétrico uniforme é:

$$V_{AB} = V_A - V_B = E \cdot d$$

Em que **E** é o módulo do vetor campo elétrico e **d** é a distância entre os pontos A e B. Para a aplicação do potencial elétrico, a situação mais comum envolve a diferença de potencial entre dois pontos de um condutor. Através da ddp, as cargas elétricas no condutor se movimentam de forma ordenada, conduzindo eletricidade para os aparelhos.

Um exemplo prático está na atitude dos pássaros em ficarem pousados no meio de fios de alta tensão da rede elétrica sem tomar um choque. Como a distância entre as suas patas é muito pequena, estabelece-se ali uma ddp entre elas e tal ddp não é suficiente para que o pássaro seja morto eletrocutado.

Além disso, como o pássaro só está encostado no próprio fio (não está tocando em nenhum outro objeto), não existe ddp para ele tomar um choque. A próxima imagem mostra um esquema do que acontece com um pássaro pousado em uma linha energizada eletricamente.



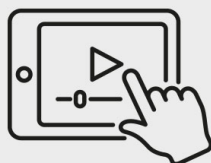
Observe a corrente fluindo pelo pássaro



Gerador eletrostático de Van de Graaff

Confira neste vídeo o funcionamento de um gerador eletrostático de Van de Graaff.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Carga elétrica

Aprenda sobre carga elétrica, também conhecida como carga fundamental. Vamos lá!

Princípio de conservação de cargas elétricas

Explore o princípio de conservação de cargas elétricas com um exemplo simples. Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

(FATEC-SP) Um bastão pode ser eletrizado em uma de suas extremidades e permanecer neutro na outra extremidade. Isso será possível quando o bastão

- A for de metal.
- B for de material não condutor elétrico.
- C for de metal, mas muito comprido.
- D for de metal, mas receber pequena quantidade de carga.
- E for de metal e receber elevada quantidade de carga.

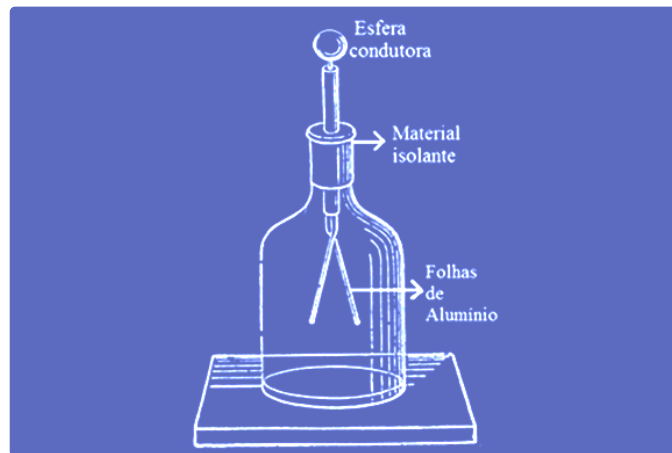
Parabéns! A alternativa B está correta.

Visto que a carga elétrica se concentra somente em uma parte do bastão, trata-se de um bastão feito de material isolante. Caso o bastão fosse condutor, a carga se distribuiria por toda a sua extensão.

Questão 2

Suponha que você tenha atritado um bastão de plástico sobre um pano de seda fortemente. A seda eletrizou-se positivamente. A seguir, você aproximou o bastão a um eletroscópio de folhas, sem tocá-lo. A figura, a seguir, apresenta um modelo de eletroscópio de folhas. As folhas de alumínio são conectadas a esfera condutora por meio de um material condutor.

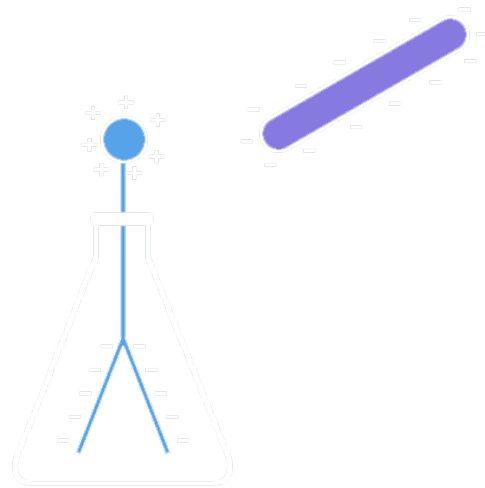
Com base no que foi informado, podemos afirmar que enquanto o bastão tiver próximo do eletroscópio, a carga na esfera condutora será:



- A Positiva.
- B Negativa.
- C Nula.
- D Uma distribuição não uniforme de cargas positivas e negativas.
- E Uma distribuição uniforme de cargas positivas e negativas

Parabéns! A alternativa A está correta.

No processo de eletrização por atrito entre dois corpos, ao final do processo, os corpos ficam carregados com cargas de sinais opostos. Como a seda ficou carregada positivamente, o bastão ficou carregado negativamente. Ao aproximarmos o bastão do eletroscópio, temos a seguinte configuração:



Nesta aproximação do bastão negativamente carregado, ocorre um fluxo de elétrons para as folhas (repulsão), e, assim, a esfera condutora localizada na parte superior do eletroscópio passa a ficar carregada positivamente.

Questão 3

Duas cargas puntiformes $q_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{C}$ e $q_2 = 12 \cdot 10^{-6} \text{C}$ estão separadas por uma distância de 6 metros uma da outra.

Sendo $K = 9,0 \cdot 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ a constante eletrostática do vácuo, a força de interação entre as partículas é de:

- A repulsão, com módulo igual a 0,015 N.
- B repulsão, com módulo igual a 0,030 N.
- C atração, com módulo igual a 0,015 N.
- D atração, com módulo igual a 0,030 N.
- E atração, com módulo igual a 0,0030 N.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Como se trata de duas cargas de mesmo sinal, as duas cargas se repelem.

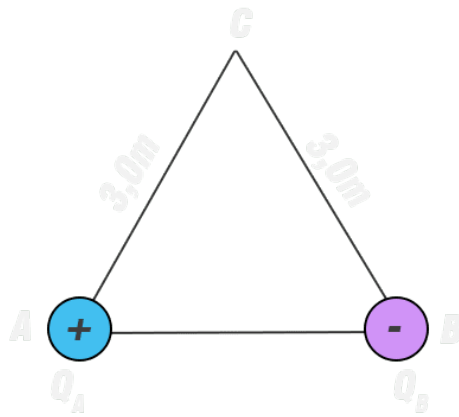
Da lei de Coulomb, temos que:

$$F = K \cdot \frac{q_1 q_2}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{(5 \cdot 10^{-6}) \cdot (12 \cdot 10^{-6})}{(6)^2} \Rightarrow F = 0,0$$



Questão 4

Na figura, tem-se um triângulo equilátero de lados iguais a 3,0 m. Nos vértices A e B foram fixadas cargas elétricas de $5,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $-5,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, respectivamente. É dado que a constante eletrostática do meio vale $9,0 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.



Com base nas informações dadas, podemos afirmar que a intensidade do campo elétrico, em N/C, no vértice C e o potencial elétrico resultante, em volts, no ponto C valem, respectivamente:

- A $5,0 \times 10^3 \text{ N/C}$, 0 V .
- B $1,0 \times 10^4 \text{ N/C}$, $3,0 \times 10^4 \text{ V}$.
- C $5,0 \times 10^3 \text{ N/C}$, $3,0 \times 10^4 \text{ V}$.
- D $1,0 \times 10^4 \text{ N/C}$, 0 V .
- E 0 N/C e $1,0 \text{ V}$

Parabéns! A alternativa A está correta.

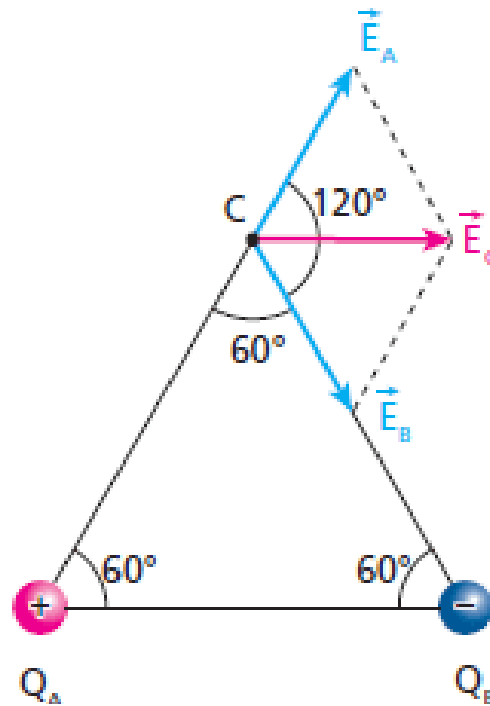
Primeiramente, vamos calcular os campos elétricos criados individualmente pelas cargas A e B:

$$|E_A| = |E_B| = K \cdot \frac{|Q|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{5,0 \cdot 10^{-6}}{3^2} \Rightarrow |E_A| = |E_B|$$



Agora, vetorialmente temos que:

Para calcularmos a resultante em C, aplicando a lei dos cossenos:



$$E_C^2 = E_A^2 + E_B^2 + 2E_A E_B \cdot \cos 120^\circ.$$

Como $E_A = E_B = E$, vem:

$$E_C^2 = E^2 + E^2 - 2 \cdot E \cdot E \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) \Rightarrow E_C^2 = E^2 \Rightarrow E_C = E =$$



Agora, para o cálculo do potencial em C, podemos utilizar o princípio da superposição, ou seja, o potencial no ponto C é o potencial que a carga A gera em C somado algebricamente com o potencial que a carga B gera em C (lembre-se de que potencial não é uma grandeza vetorial). Assim:

$$V_c = V_{A \rightarrow C} + V_{B \rightarrow C} = K \cdot \frac{Q_A}{d_{AC}} + K \cdot \frac{Q_B}{d_{BC}} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{(5 \cdot 10^{-6})}{3}$$



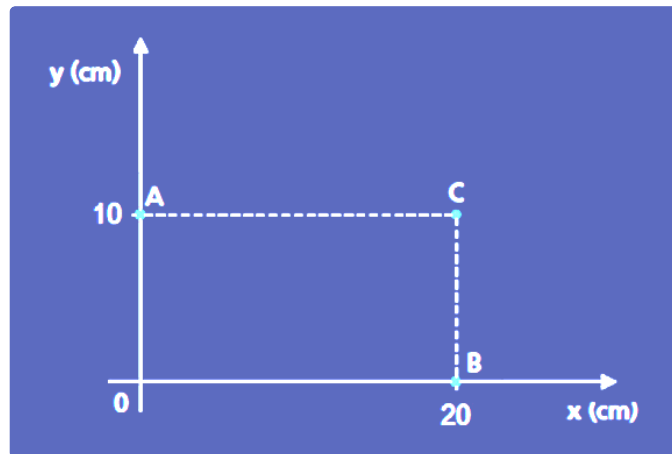
Ou seja, o potencial em C devido à q_1 e q_2 é nulo.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 5

5. No vácuo estão situadas duas cargas A e B, que valem, respectivamente, $16 \cdot 10^{-9} \text{C}$ e $3 \cdot 10^{-9} \text{C}$. A posição das cargas, é apresentada no diagrama a seguir. Com base nessas informações, o campo elétrico no ponto C tem módulo igual a:

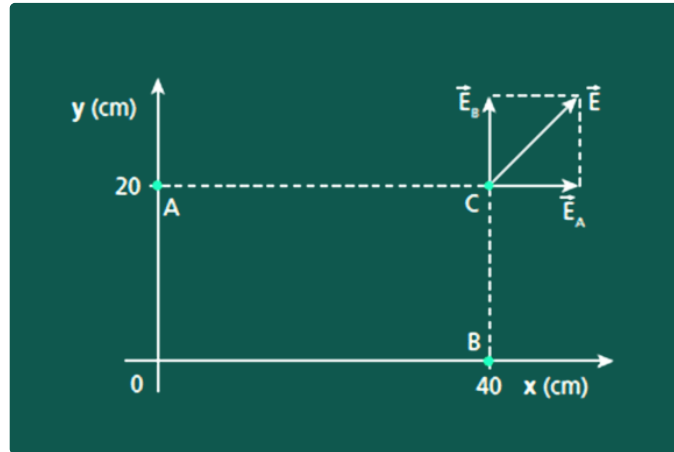


Dado: Constante eletrostática do vácuo: $K=9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

- A 3500 N/C.
- B 4000 N/C.
- C 4500 N/C.
- D 5000 N/C.
- E 5500 N/C

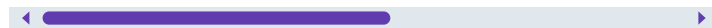
Parabéns! A alternativa C está correta.

Primeiramente, vamos calcular os campos elétricos criados individualmente pelas cargas A e B:

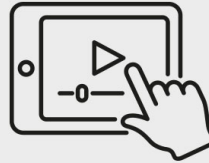


O campo elétrico resultante, pelo teorema de Pitágoras, é dado por:

$$E_R^2 = E_A^2 + E_B^2 \Rightarrow E_R^2 = \left(K \cdot \frac{Q_A}{d_{AC}} \right)^2 + \left(K \cdot \frac{Q_B}{d_{BC}} \right)^2 \Rightarrow E_R^2 \\ \Rightarrow E_R^2 = (3600)^2 + (2700)^2 \Rightarrow E_R^2 = 20,25 \cdot 10^6 \Rightarrow E_R = 4500$$



Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 6

Têm-se três esferas metálicas idênticas, A, B e C. No início, a esfera A estava carregada com carga Q desconhecida, enquanto B e C estavam eletricamente neutras. Após os contatos de A com B e de A com C, verificou-se que C adquiriu carga negativa de $-3\mu C$. Com base nisso, podemos afirmar que a carga inicial de A e a carga final de B valem, respectivamente:

- A -6 μC e -12 μC .
- B -1,5 μC e -3 μC .
- C -12 μC e -6 μC .

D $-4 \mu\text{C}$ e $-8 \mu\text{C}$.

E $-2 \mu\text{C}$ e $9 \mu\text{C}$

Parabéns! A alternativa C está correta.

Seja Q a carga da esfera A. Como as esferas são idênticas, temos pela conservação de cargas:

$$q_A + q_B + q_C = q'_A + q'_B + q'_C$$

Contato entre A e B: $q'_A = q'_B = \frac{0+Q}{2} = \frac{Q}{2}$

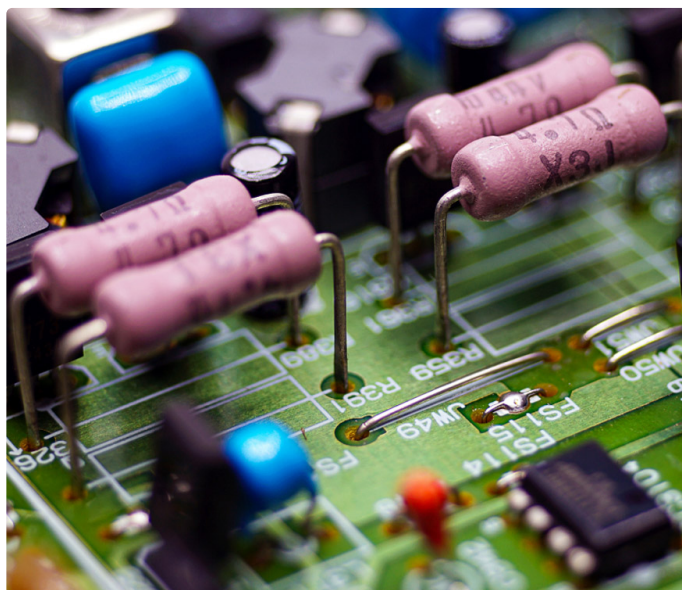
Contato entre A e B: $q'_A = q'_B = \frac{0+Q}{2} = \frac{Q}{2}$

a) Contato entre

A e C: $q'_A = q'_C = \frac{0+\frac{Q}{2}}{2} = \frac{Q}{4} = -3\mu\text{C} \rightarrow Q = -12\mu\text{C}$

b) A carga de B é dada por: $q_B = \frac{Q}{2} \rightarrow q_B = -6\mu\text{C}$

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



2 - Circuitos elétricos resistivos

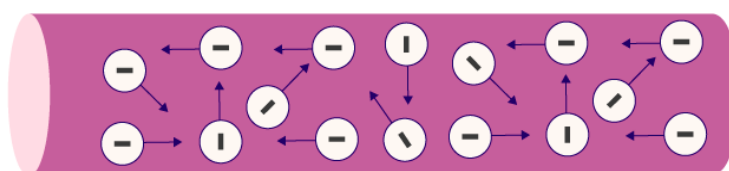
Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer o funcionamento de circuitos elétricos resistivos.

Corpos eletrizados: cargas em equilíbrio e fluxo de cargas

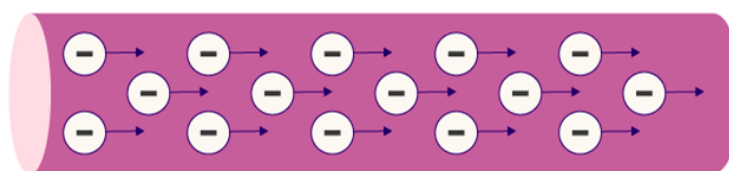
Equilíbrio eletrostático

Conforme apresentado, os condutores são constituídos de elétrons que possuem alta mobilidade ao longo da sua extensão. No entanto, caso não seja estabelecido um campo elétrico em seu interior, o movimento dos elétrons será aleatório.

Tal configuração constitui o chamado **equilíbrio eletrostático**. A partir do momento em que um campo elétrico é aplicado entre os terminais desse mesmo condutor, os elétrons passam a se mover na mesma direção e sentido.



Representação das cargas eletrostáticas antes de chegar ao equilíbrio.



Representação das cargas eletrostáticas após chegar ao equilíbrio eletrostático.

Esse campo elétrico é o que dá origem à chamada diferença de potencial (ddp), levando os elétrons a se movimentarem de forma ordenada, dando origem à chamada corrente elétrica, conforme veremos mais à frente. O estudo dos elétrons em movimento ordenado no interior de um condutor, sua corrente elétrica e ddp constituem o estudo da eletrodinâmica.

As aplicações da eletrodinâmica são diversas e de grande importância no cotidiano. Sem corrente elétrica e energia elétrica, nossas vidas seriam muito diferentes.

Você consegue imaginar um mundo sem computador, eletrodomésticos, iluminação pública e luz doméstica? Ou pior, consegue imaginar um mundo sem smartphone? Todos esses aparelhos são compostos por

circuitos elétricos, tornando a sua vida mais simples em diversos aspectos.

Antes de começarmos a trabalhar com circuitos elétricos resistivos, precisamos entender os três principais conceitos:

- Corrente elétrica
- Tensão elétrica
- Resistência elétrica

Exploraremos cada um desses conceitos a seguir.

Corrente elétrica

Ao analisarmos o condutor com movimento ordenado de cargas elétricas, vemos que por uma parte dos condutores flui certa quantidade de carga Q em um intervalo de tempo t bem estabelecido.

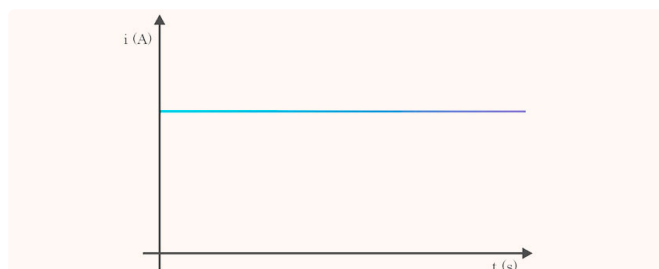
Com isso, definimos intensidade de corrente elétrica, representada por i , como a razão de cargas que flui por unidade de tempo da seguinte forma:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

E sua unidade no sistema internacional é dada por ampère [A], sendo: 1A= 1 coulomb por segundo.

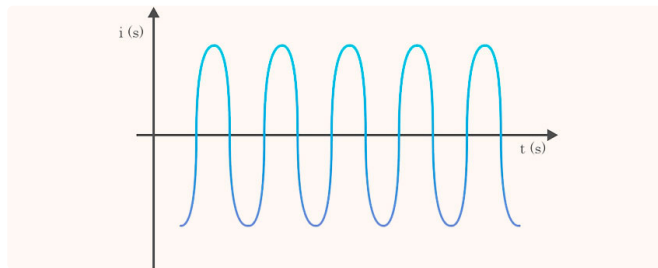
Corrente contínua X Corrente alternada

Existem dois tipos principais de correntes. Vamos conhecê-las!



Corrente contínua (CC ou DC)

Corrente cujo valor permanece constante ao longo do tempo.



Corrente alternada (CA ou AC)

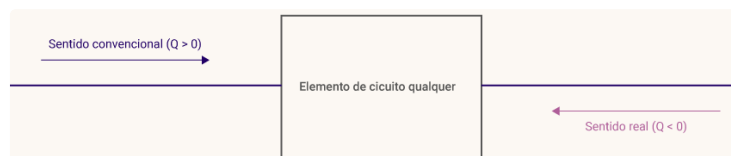
Corrente que varia com o tempo segundo uma forma de onda senoidal.

A corrente alternada é a mais comum em nossas residências, proveniente da rede elétrica, usada para ligarmos máquinas de lavar roupa, geladeiras e os demais eletrodomésticos.

Sentido real e sentido convencional de corrente

Se você chegou até aqui, sabe que as partículas que se movem em um condutor são os elétrons e que, por convenção, os elétrons possuem carga negativa.

Dessa forma, pela definição de corrente elétrica, a corrente que circula em um circuito teria que ser negativa. No entanto, devido à ordem cronológica dos ocorridos (descobriu-se corrente elétrica antes das definições de elétron e próton), convencionou-se que os elétrons se movem no sentido contrário de uma corrente elétrica. Confira a representação do sentido real e do convencional de corrente.



Representação do sentido real e convencional de corrente.



Guerra das correntes

Acompanhe neste vídeo a disputa que ocorreu nos EUA sobre qual tipo de corrente seria usada na distribuição geral de eletricidade.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Tensão elétrica

Em eletrostática, para que cargas se movam em determinada direção (e sentido), é necessária a transferência de energia elétrica para elas, sendo essa energia diretamente ligada à tensão elétrica ou diferença de potencial (ddp), também chamada popularmente de voltagem.

Você provavelmente já ouviu alguém dizer: “Preciso de uma bateria de 9 volts para esse carrinho de controle remoto” ou “Esse aparelho é 110 volts ou 220 volts?”. Essas são frases bastante comuns, embora a última não seja mais um grande problema atualmente, já que a maioria dos aparelhos modernos são bivolt, ou seja, adaptam-se para funcionar tanto em 110V quanto em 220V (valores usados em corrente alternada). A partir de agora, representaremos a tensão em volts simplesmente com a letra V.



Pessoas plugando tomadas.

Podemos definir a tensão elétrica (ou ddp) entre dois pontos A e B de um circuito elétrico como a razão entre a energia elétrica necessária para mover uma carga elétrica através dos pontos A e B desse circuito, e o valor dessa carga elétrica.

Resistência elétrica e Lei de Ohm

Antes de Alessandro Volta não havia forma de liberar, gerar ou até mesmo manusear precisamente a energia elétrica.

Com a sua bateria, esse procedimento foi facilitado e, após isso, foi constatado pelo físico alemão Georg Ohm, em 1827, que havia uma relação direta entre a ddp e a corrente elétrica que atravessavam um condutor, a qual foi chamada de **1ª Lei de Ohm**.

1ª Lei de Ohm

Essa lei dispõe que a ddp (V) entre os terminais A e B de um condutor é diretamente proporcional à corrente (i) que flui através dele, sendo a constante dessa relação de proporcionalidade nomeada resistência elétrica (R). Assim sendo, temos que:

$$V_{AB} = R \cdot i$$

Em outras palavras, dizemos que a razão entre a tensão e a corrente é **constante**. A unidade de resistência elétrica é dada em ohm, em homenagem a Georg Ohm.

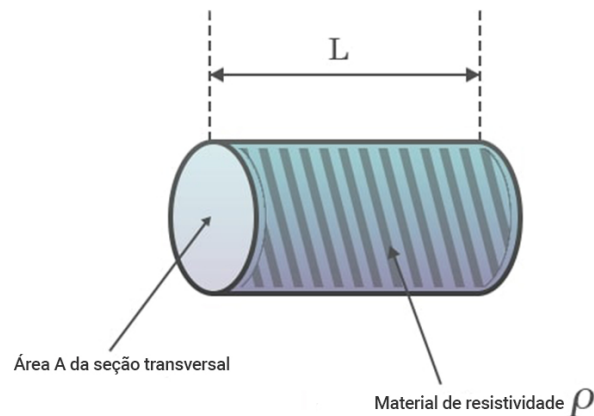
Georg Ohm, após enunciar sua primeira lei, constatou que a resistência elétrica pode ser obtida a partir das propriedades do material e de sua geometria, enunciando, assim, a 2ª Lei de Ohm.

2ª Lei de Ohm

Diz que a resistência elétrica depende do tipo de material no qual é feito o condutor, do comprimento do condutor (L) e da sua seção reta (A), ou seja, sua área perpendicular ao fluxo de corrente. Assim, a resistência elétrica é dada por:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Observe a imagem a seguir para uma melhor compreensão!



Exemplo de aplicação da 2ª Lei de Ohm.

Sendo ρ (medida no SI em Ωm), inerente ao material no qual é feito o condutor.

Agora, confira a situação que apresentaremos a seguir e tente responder!

Suponha que Marina queira atravessar um corredor de comprimento L e largura A, e que nesse corredor haja diversas pessoas. Marina terá **maior dificuldade** em atravessar um corredor mais **comprido** em relação

ao comprimento L inicial ou um corredor **mais largo**, sem alterar o comprimento L inicial?

Qual das opções você escolheria para resolver a situação proposta?

Corredor comprido

Acredito que Marina teria maior dificuldade em atravessar um corredor cujo comprimento seja maior que o comprimento L inicial.

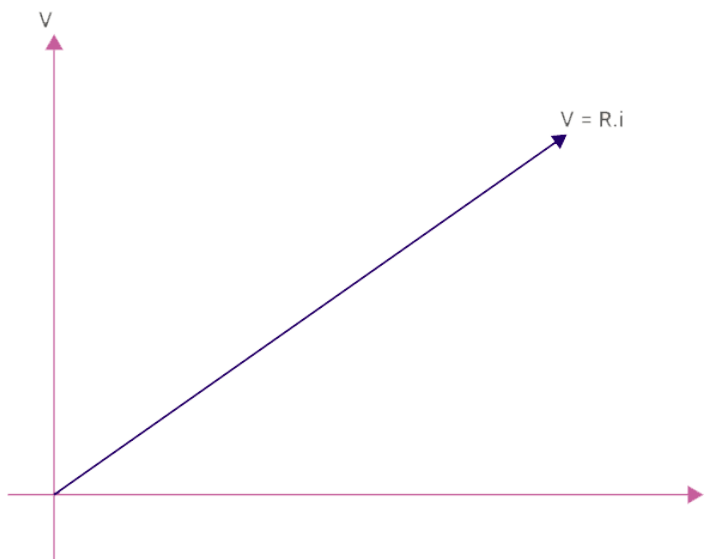
Escolher

Corredor largo

Acredito que Marina teria maior dificuldade em atravessar um corredor de comprimento L igual ao inicial, porém com largura A maior que a inicial.

Escolher

Para um condutor que obedece às duas leis de Ohm, dizemos que se trata de um condutor ôhmico, valendo graficamente que a relação tensão-corrente seja definida por uma reta. Veja!



Relação tensão-corrente.

Para um mesmo nível de tensão, quanto menor a resistência elétrica, maior será a corrente que atravessará o condutor. Em outras palavras, podemos dizer que a corrente é **preguiçosa**, ou seja, sempre pega o caminho mais fácil (ou de menor resistência).

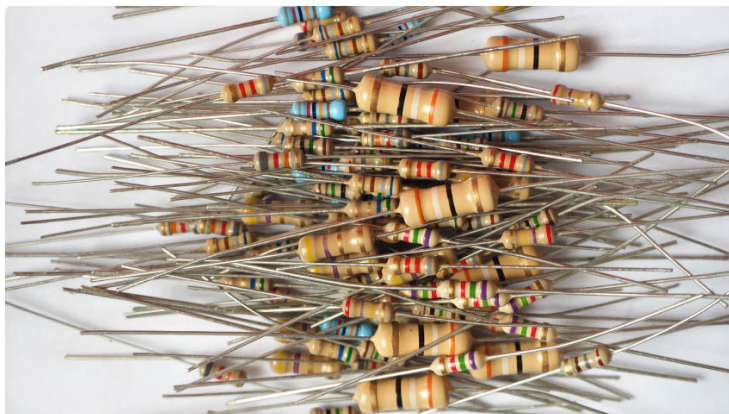
Circuitos resistivos em série e paralelo

Resistores e associação de resistores

Acabamos de ver que resistência elétrica é uma propriedade dos materiais que determina a oposição ao movimento de cargas elétricas. Quanto maior a resistência, maior a dificuldade de fluir corrente.

Em circuitos elétricos, o elemento usado para limitar o fluxo de corrente é chamado de resistor.

Em todos os aparelhos eletroeletrônicos são utilizados resistores em seus circuitos, tais como o mostrado a seguir. Existem resistores de diversos tamanhos, valores e pesos, cada qual útil para determinada aplicação.



Exemplo de resistor em diversos tamanhos.

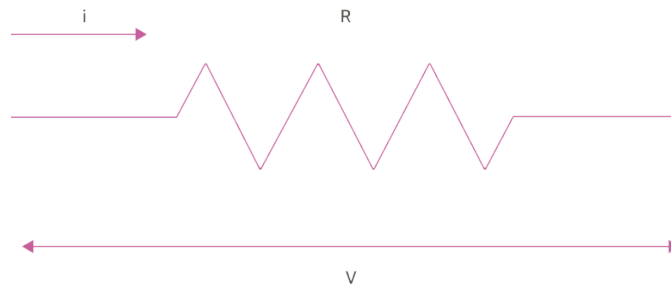
Geralmente, parte da energia elétrica existente devido à corrente fluindo por um resistor é transformada em energia térmica, ou seja, é dissipada no resistor em forma de calor. Isso é chamado de efeito Joule.

Em diversos circuitos, esse efeito é indesejável, havendo necessidade de resfriamento do circuito. Por outro lado, alguns aparelhos utilizam esse resultado para fins práticos, tais como chuveiros elétricos e torradeiras.

Comentário

Os resistores normalmente são feitos de compostos de carbono, carvão, películas metálicas ou óxidos de metal. Materiais como alumínio e cobre apresentam baixa resistividade e, dessa forma, são usados como fios elétricos, conduzindo facilmente a corrente.

No estudo de circuitos elétricos, é comum usarmos o símbolo a seguir (definido pela IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers) para representar os resistores. Confira na imagem!



Representação dos resistores.

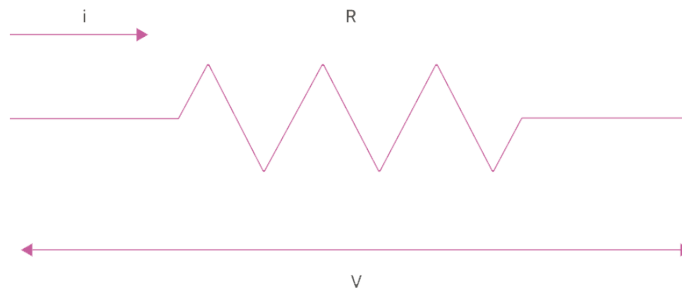
A forma como dispomos resistores no circuito definirá a resistência elétrica final desse circuito. As disposições dos resistores, também chamadas de associações, são de três tipos. Veja!

Associação em série

A resistência equivalente (R_{eq}) vale: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

É o valor de uma única resistência que pode substituir todos os resistores originais, mantendo o mesmo valor de resistência total no circuito. Em associações desse tipo, a corrente é uniforme em cada um dos resistores. Se houver mais resistores, o procedimento envolve somar as resistências de todos os n resistores conectados em série, ou seja:

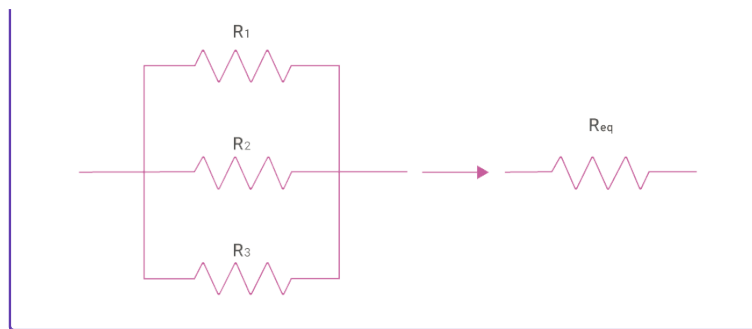
Vale: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n$



Associação em paralelo

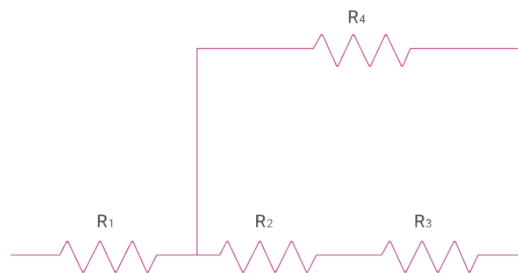
A resistência equivalente (R_{eq}) vale: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

Nesse tipo de associação, a ddp é a mesma em cada um dos resistores. No exemplo foi apresentado o caso com três resistores em paralelo. Caso fossem mais, seria feito o somatório de todos os inversos dos n resistores contidos em paralelo, ou seja: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots + \frac{1}{R_n}$.



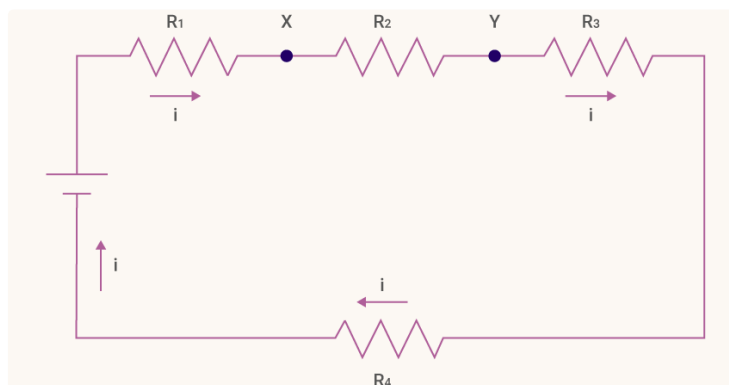
Associação mista

Nada mais é do que, no mesmo circuito, existirem associações em série e associações em paralelo de resistores. Neste tipo de associação, não há uma equação específica para obtenção da resistência equivalente. Para a encontrarmos, dividimos o circuito em circuitos menores e calculamos os equivalentes em série e os equivalentes em paralelo. Com isso, será obtida a resistência equivalente da associação.



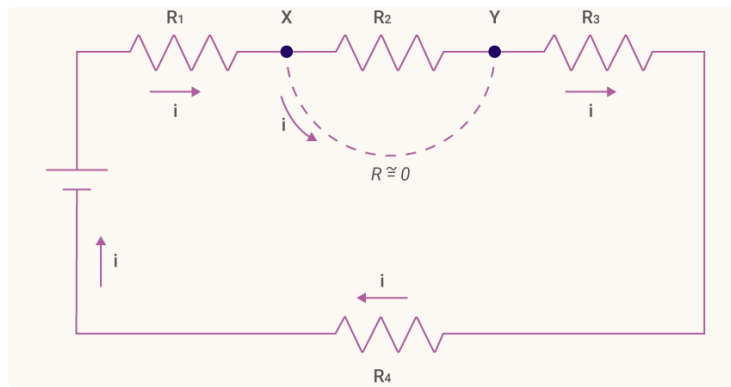
Curto-circuito

Com certeza você já ouviu falar de curto-circuito, mas talvez não saiba corretamente do que se trata. Considere o circuito da imagem a seguir.



Representação de um circuito.

Suponha que entre os pontos X e Y ligue-se um fio condutor (resistência muito pequena, quase zero), conforme mostrado na próxima imagem.



Representação de um circuito.

Sendo a resistência R muito pequena, temos que a ddp entre os terminais X e Y é considerada desprezível, porque a corrente elétrica sempre dá preferência ao caminho de menor resistência. Com isso, a corrente através do resistor R_2 é dada por:

$$i_{R2} = \frac{V_{XY}}{R_2} = \frac{\cong 0}{R_2} = 0$$

Podemos dizer que os pontos X e Y são coincidentes, ou seja, a ddp entre eles é nula!



O que é realmente um curto-circuito e quais são suas aplicações na prática?

Resposta

O termo curto-circuito vem do inglês *short circuit*, que nada mais é do que um encurtamento do circuito; em outras palavras, ocorre um desvio do caminho pelo qual a corrente elétrica deveria fluir, como se

ela pegasse um atalho para chegar a outra parte do circuito rapidamente.

Na engenharia elétrica, é muito aplicado o conceito de curto-circuito no que diz respeito às falhas em sistemas elétricos. Quando fios de uma linha de transmissão entram em contato, ocorre o chamado curto-circuito entre as fases da linha, gerando um desequilíbrio do sistema elétrico.

Potência elétrica e energia elétrica

Um conceito bem importante quando se estuda circuitos elétricos é o de potência elétrica. Isso porque potência elétrica está associada à energia elétrica, que está associada ao custo.

Potência elétrica é definida como a quantidade que se consome ou se absorve energia e sua unidade é dada em watts (W).

A potência elétrica dissipada por um resistor é dada por:

$$P = V \cdot i$$

Como pela 1ª Lei de Ohm temos que $V = R \cdot i$. A potência elétrica pode também ser escrita das seguintes formas:

$$P = V \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{V^2}{R}$$

Energia elétrica é a capacidade de realizar trabalho. É medida em joules (J). A partir da potência, sabemos que sua definição é relacionada à energia e ao tempo, ou seja:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow E = P \cdot \Delta t$$

Um exemplo muito comum de aplicação do conceito de energia elétrica é o consumo de energia da conta de luz na sua residência. As concessionárias de energia medem a energia em watts-hora (Wh), em que $1W \cdot h = 3600J$.

Falamos sobre o efeito Joule. Agora que você já sabe o que é potência elétrica, podemos discutir melhor tal efeito.

Ao ligarmos uma lâmpada incandescente, observamos que, após certo tempo, fica inviável tocá-la devido à alta temperatura, que pode causar queimaduras. Por que isso acontece? A resposta é: **efeito Joule**.



Lâmpada incandescente ligada.

Uma lâmpada incandescente é constituída por um fio muito fino de material condutor que, ao ser submetido à passagem de uma corrente elétrica, aquece-se liberando energia na forma de calor.

A temperatura alcançada pelo filamento da lâmpada é tão elevada que o fio libera energia na forma de luz e de calor. Esse fenômeno, que consiste na transformação de energia elétrica em calor (energia térmica), é chamado de efeito Joule.

Outro exemplo é o que ocorre nos aparelhos aquecedores, usados em países mais frios. Nesse caso, o efeito Joule é usado a favor do usuário.

Tal fenômeno recebeu esse nome em homenagem ao físico britânico James Prescott Joule (1818-1889) devido aos seus estudos envolvendo a conservação de energia nos condutores elétricos e na conversão de energia elétrica em térmica.



Circuitos elétricos

No estudo da eletrodinâmica, a sua maior aplicação em termos práticos é quando há a junção de diversos componentes elétricos formando os chamados circuitos elétricos.

Circuitos elétricos são caminhos fechados, onde componentes elétricos são conectados entre si, e por onde uma corrente elétrica flui.

Aqui vamos focar somente o estudo de circuitos elétricos resistivos, ou seja, circuitos elétricos compostos somente por fonte de tensão e resistores.

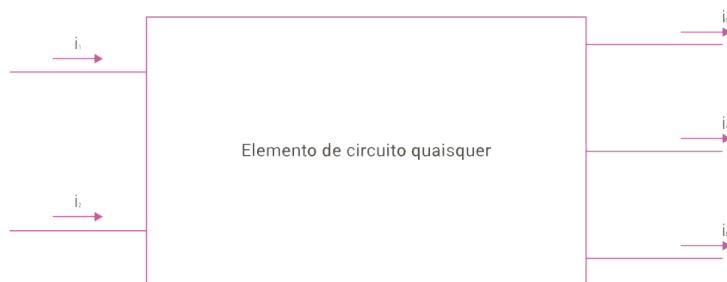
Para que saibamos como se comporta um circuito elétrico, precisamos entender todas as tensões (diferenças de potenciais) existentes nele, assim como todas as correntes.

Existem duas leis que nos auxiliam a determinar esses valores e são chamadas de leis de Kirchhoff. Vamos conferir!

Leis de Kirchhoff

1ª Lei de Kirchhoff (Lei dos nós ou lei das correntes)

Estabelece que para dado elemento de circuito, temos que o total de correntes que entram é igual ao total de correntes que saem. Confira a imagem!



Aplicação da 1ª Lei de Kirchhoff.

Como não há perdas (nem acréscimo) de cargas elétricas ao longo do trajeto percorrido pela corrente elétrica, podemos afirmar que:

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

Ou de maneira geral, podemos dizer que:

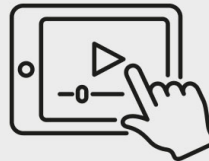
$$\Sigma i_{\text{chegam}} = \Sigma i_{\text{saem}}$$



2ª Lei de Kirchhoff (Lei das malhas ou lei das tensões) e suas aplicações

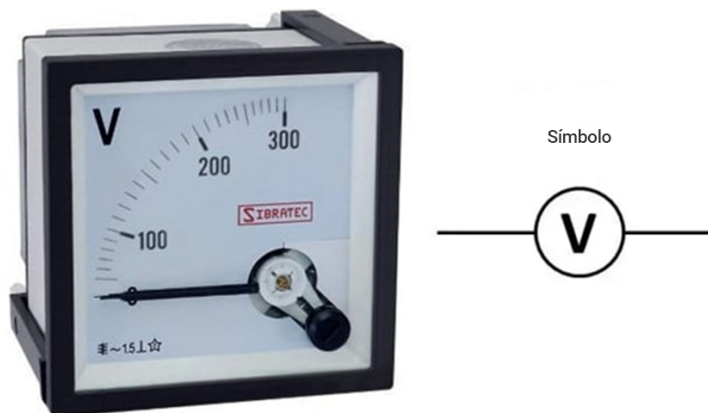
Neste vídeo, explicaremos em detalhes a 2ª Lei de Kirchhoff (Lei das malhas ou lei das tensões) e suas aplicações. Assista!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Instrumento de medição

Para obtermos a tensão entre dois terminais de um circuito, utilizamos um dispositivo chamado **voltímetro**. Veja um exemplo de voltímetro e o símbolo usado para indicar que há um voltímetro no circuito.



Exemplo de voltímetro analógico e seu símbolo representativo.

Veja alguns pontos do voltímetro que devem ser considerados.

- Para que o voltímetro possa medir a tensão entre dois nós, ele deve ser **ligado em paralelo** ao elemento contido nesses nós.
- Os voltímetros têm um valor de resistência muito alto, para que não haja correntes significativas passando por eles (verifique o valor da resistência equivalente entre dois resistores em paralelo, em que um deles tenha uma resistência extremamente alta).
- Se um voltímetro é considerado ideal, assume-se que sua resistência é infinita, de modo a não alterar a tensão nem a corrente entre os terminais.

Para obtermos a corrente que flui entre os terminais de um circuito, usamos um dispositivo chamado de **amperímetro**. Veja um exemplo de amperímetro e o símbolo usado para indicar sua presença em um circuito elétrico.



Exemplo de amperímetro analógico e seu símbolo representativo.

A seguir, confira alguns pontos do amperímetro que devem ser considerados:

- Para que o amperímetro possa medir a corrente entre dois nós, ele deve ser **ligado em série** com o elemento contido nesses nós.
- Os amperímetros possuem um valor muito pequeno de resistência, para que não haja ddp significativa entre os seus terminais (verifique o valor de resistência equivalente entre dois resistores colocados em série, em que um deles tenha uma resistência extremamente baixa).
- Se um amperímetro é considerado ideal, assume-se que sua resistência é desprezível, para não alterar a corrente nem a tensão entre os terminais.

Multímetros são aparelhos projetados para medir correntes e tensões dentro de determinados valores preestabelecidos pelo fabricante, ou seja, são dispositivos que possuem as funções de voltímetro e de amperímetro (pelo menos) em um só lugar. Geralmente, multímetros também possuem a função de ohmímetro, que é o aparelho usado para medir resistência elétrica.

Atualmente, é cada vez menos comum utilizar aparelhos analógicos de medição, embora possuam boa precisão. Multímetros digitais são, atualmente, muito utilizados e capazes de medir mais de uma característica de um sistema elétrico.



Exemplar de um multímetro.

Os geradores são dispositivos que convertem energia de outros tipos em energia elétrica, basicamente. Um de seus exemplos mais comuns são as usinas hidrelétricas, que utilizam a energia mecânica (no caso, a potencial) da queda d'água para produzir energia elétrica. Exemplos mais simples e comuns no dia a dia são as pilhas e as baterias de automóveis. Confira!



Bateria de automóvel

Produz energia elétrica por meio de reações químicas.



Pilhas

Usadas em aparelhos eletrônicos de baixa tensão.

Além desses dois tipos, ainda existem as células fotovoltaicas, ou células solares, que convertem a energia da luz do sol em energia

elétrica.

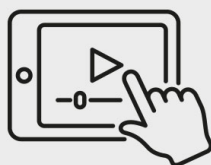
Encontrados em telhados de casas em bairros residenciais, esses dispositivos ajudam a reduzir a conta de luz da residência. Eles também são utilizados em usinas de geração fotovoltaica que ocupam grandes áreas a céu aberto.



Condutividade elétrica

No vídeo a seguir, entenda a relação entre soluções e materiais com a condutividade elétrica, correlacionando-os com a estrutura atômica do material. Assista!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Corrente elétrica

Explore a definição de corrente elétrica e, com essa base, entenda como funciona vários equipamentos elétricos. Vamos lá!

Resistência elétrica

Explore o conceito de resistência elétrica e veja alguns exemplos de materiais com alta e baixa resistência elétrica. Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Considerando o sentido real da corrente, quando ela começa a fluir por um material condutor, quais são os portadores de carga que se movem de modo ordenado em seu interior?

- A Prótons livres
- B Elétrons livres
- C Partículas alfa
- D Prótons e elétrons livres
- E Partículas beta

Parabéns! A alternativa B está correta.

No interior de um condutor, quem se move são sempre os elétrons livres. As cargas positivas constituem o núcleo do átomo e ali permanecem.

Questão 2

Por um chuveiro elétrico, circula uma corrente de 10A quando ele é ligado a uma tensão de 220V. A potência elétrica recebida pelo chuveiro, em W, e a energia elétrica consumida pelo chuveiro em 12 minutos de funcionamento, em kWh, são respectivamente

- A 2200 W e 0,22 kWh.
- B 1100 W e 0,11 kWh.
- C 1100 W e 0,22 kWh.
- D 1100 W e 0,44 kWh.
- E 2200 W e 0,44 kWh.

Parabéns! A alternativa E está correta.

A potência elétrica recebida pelo chuveiro é calculada por: $P = V \cdot i$.

$$P = 220 \cdot 10 = 2200W = 2,2kW$$

A energia elétrica consumida é dada por: $E = P \cdot \Delta t$

$$\text{Mas, } \Delta t = 12 \text{ min} = \frac{12}{60}h = 0,2h$$

Com isso, a energia consumida é dada por:

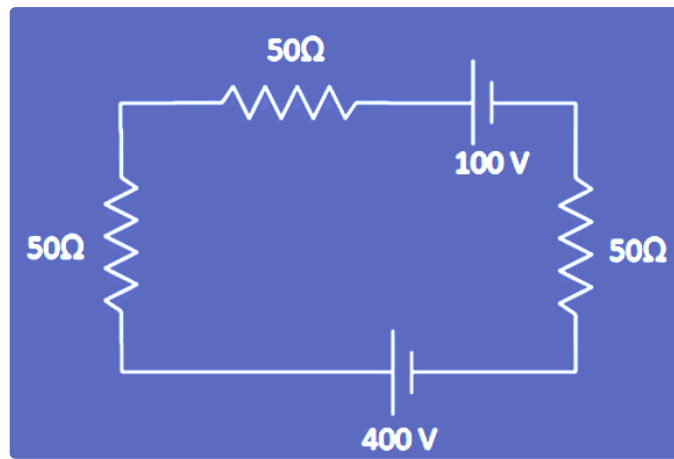
$$E = (2,2kW) \cdot (0,2h) = 0,44kWh$$

Note que esse chuveiro possui uma resistência elétrica dada por

$$P = Ri^2 \Rightarrow 2200 = R \cdot (10)^2 \Rightarrow R = 22\Omega$$

Questão 3

Para o circuito a seguir, a corrente total que flui pelo circuito é dada por:



- A 1 A.
- B 2 A.
- C 3 A.
- D 4 A.
- E 5 A.

Parabéns! A alternativa B está correta.

Adotando o sentido horário para percorrer a malha e atribuindo letras aos nós, temos que:



Aplicando a 2ª lei de Kirchhoff (lei das tensões), temos que:

$$V_{AA} = 0 \Leftrightarrow +50i + 50i + 100 + 50i - 400 = 0 \Rightarrow 150i = 300 :$$

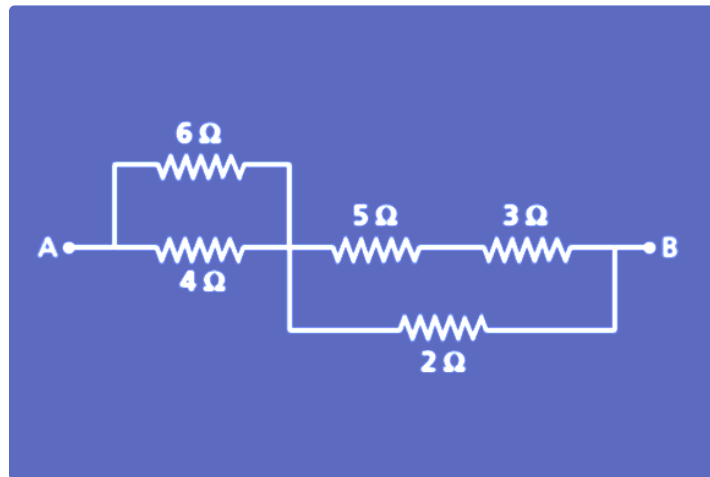


Note que para o sentido percorrido na malha, foi considerado como sinal da tensão entre os nós, o sinal do polo de entrada da corrente. Se fosse considerado o sinal do polo de saída da corrente, o mesmo resultado seria obtido.

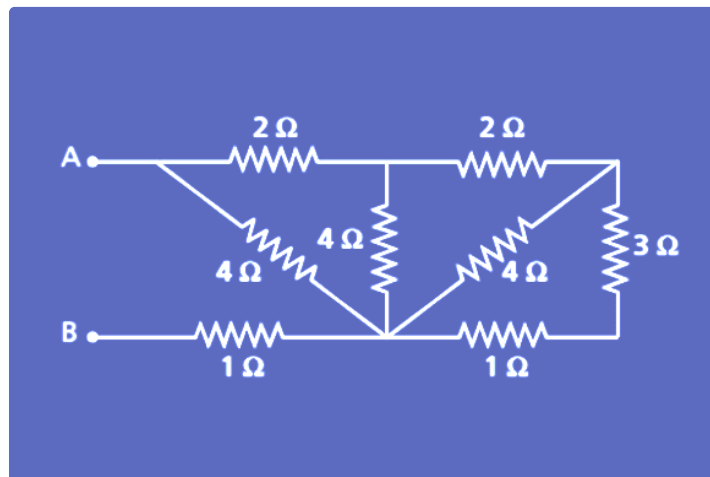
Questão 4

Determine a resistência equivalente entre os terminais A e B de cada uma das associações e assinale a alternativa que indica corretamente os valores dessas resistências:

A)



B)



C)



A A) $2\ \Omega$; B) $3\ \Omega$; C) R

B A) $4\ \Omega$; B) $3\ \Omega$; C) $\frac{R}{3}$

C A) $8\ \Omega$; B) $1\ \Omega$; C) $\frac{R}{3}$

D A) $4\ \Omega$; B) $1\ \Omega$; C) $\frac{R}{3}$

E A) $3\ \Omega$; B) $11\ \Omega$; C) R

Parabéns! A alternativa B está correta.

a) $6\ \Omega$ em paralelo com $4\ \Omega$: $R = \frac{6 \times 4}{6+4} \Rightarrow R_1 = 2,4\ \Omega$

$8\ \Omega$ em paralelo com $2\ \Omega$: $R_2 = \frac{2 \times 8}{2+8} \Rightarrow R_2 = 1,6\ \Omega$

R_1 em série com R_2 : $R_{eq} = 2,4 + 1,6 \Rightarrow R_{eq} = 4\ \Omega$

b) Começando pela malha da direita no circuito:

$3\ \Omega$ em série com $1\ \Omega = 4\ \Omega$

$4\ \Omega$ em paralelo com $4\ \Omega = 2\ \Omega$

$2\ \Omega$ em série com $2\ \Omega = 4\ \Omega$

$4\ \Omega$ em paralelo com $4\ \Omega = 2\ \Omega$

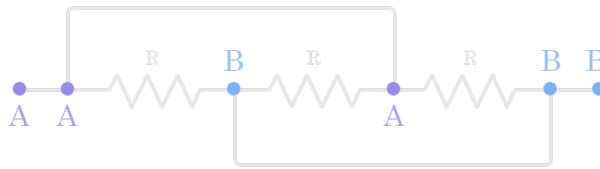
$2\ \Omega$ em série com $2\ \Omega = 4\ \Omega$

$4\ \Omega$ em paralelo com $4\ \Omega = 2\ \Omega$

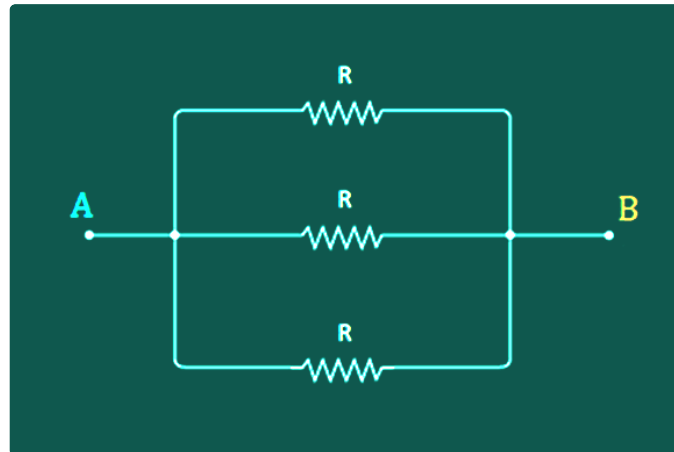
$2\ \Omega$ em série com $1\ \Omega \Rightarrow R_{eq} = 3\ \Omega$

c) Esse exercício é interessante, pois nele usaremos a ideia de curto circuito.

Os pontos do circuito onde três ou mais terminais estão juntos são os nós. Os nós, localizados nas extremidades de um fio ideal, estão no mesmo potencial. Por isso, podemos identificá-los com uma mesma letra, ou seja:



Em seguida, posicionamos todos os nós eletricamente diferentes em diferentes pontos do papel e remontamos o circuito:

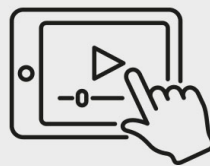


Concluimos, assim, que a resistência elétrica é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{3}$$

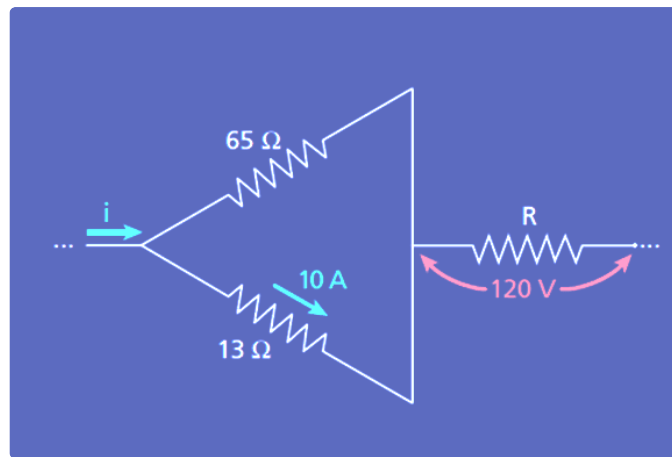
Assim, alternativa correta é letra B.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 5

A intensidade da corrente **i** e o valor da resistência **R** no circuito a seguir são respectivamente iguais a:



- A 12 A e 10 Ω .
- B 6 A e 10 Ω .
- C 12 A e 5 Ω .
- D 6 A e 5 Ω .
- E 10 Ω e 10 Ω

Parabéns! A alternativa A está correta.

No resistor de 13 Ω : $V_{13\Omega} = 13 \cdot 10 \Rightarrow V_{13\Omega} = 130 \text{ V}$

No resistor de 65 Ω , a ddp é igual a no resistor 13 Ω (os resistores estão em paralelo):

$$130 = 65 \cdot i_r \Rightarrow i_r = 2 \text{ A}$$

Agora, aplicando a 1ª lei de Kirchhoff - a soma das correntes que entram é igual a soma das correntes que saem:

$$i = 10 + i = 10 + 2 \Rightarrow i = 12 \text{ A}$$

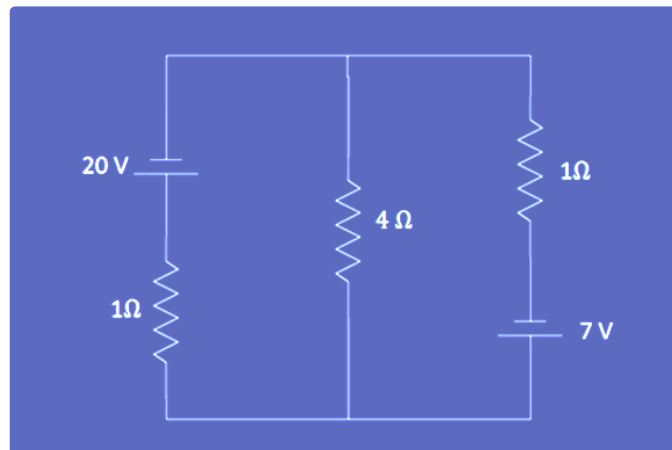
No resistor R: $120 = R \cdot i = R \cdot 12 \Rightarrow R = 10 \Omega$

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 6

Observe o circuito elétrico da figura a seguir.

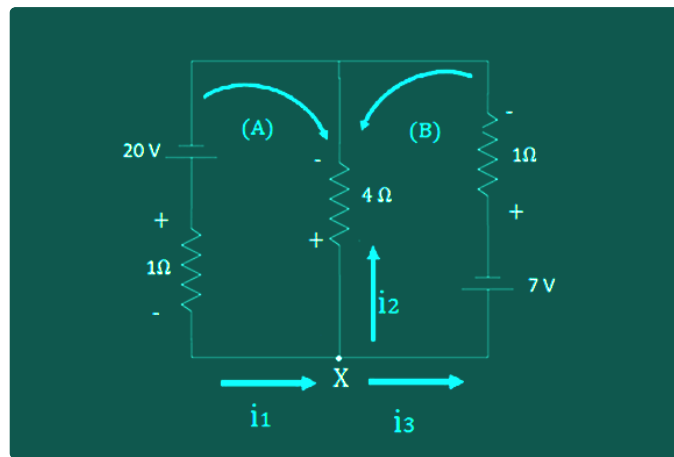


Com base nisso, podemos afirmar que a corrente que flui pela fonte de tensão de 20 V, a corrente pelo resistor de 4 Ω e a corrente na fonte de 7 V, valem respectivamente:

- A 4 A, 3 A e 1 A.
- B 5 A, 3 A e 2 A.
- C 8 A, 3 A e 5 A.
- D 5 A, 3 A e 8 A.
- E 6 A, 6 A e 6 A

Parabéns! A alternativa C está correta.

Primeiro, vamos definir um sentido arbitrário para as correntes e o sentido que iremos seguir na malha (em vermelho). Neste exemplo, escolhemos o sentido conforme esquema a seguir:



Nó X: $i_1 = i_2 + i_3$

Malha (A): $+20 - 4 \cdot i_2 - 1 \cdot i_1 = 0$

Malha (B): $+7 + 1 \cdot i_3 - 4 \cdot i_2 = 0$

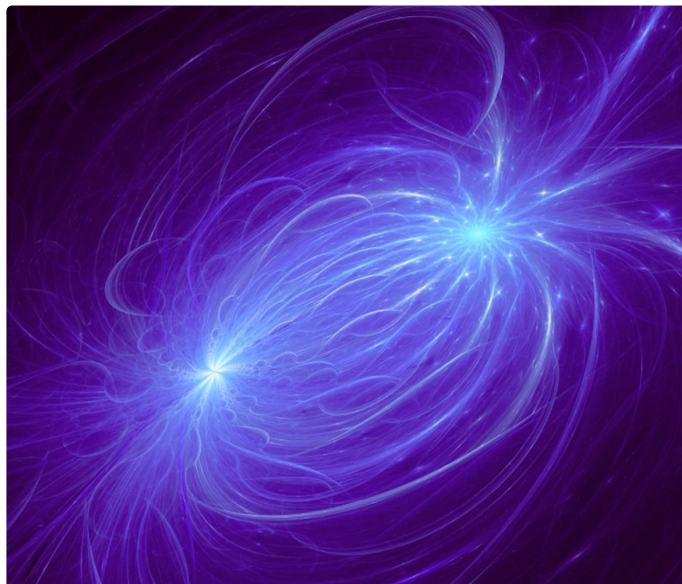
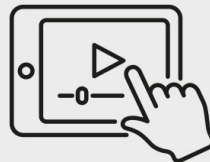
Com isso, substituindo $i_3 = i_1 - i_2$ na equação da Malha (B), temos que:

$$\begin{cases} +20 - 4 \cdot i_2 - 1 \cdot i_1 = 0 \\ +7 + 1 \cdot i_3 - 4 \cdot i_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow 27 - 9i_2 = 0 \Rightarrow i_2 = 3A$$

Substituindo o valor encontrado de i_2 nas equações, obtemos:

$i_1 = 8A$ e $i_3 = 5A$

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



3 - Magnetismo e eletromagnetismo

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar conceitos e leis que regem o magnetismo e o eletromagnetismo.

Magnetismo

Origem

Há séculos, a humanidade tem conhecimento dos fenômenos magnéticos. Existem registros desse conhecimento desde a Grécia Antiga, quando se observavam as propriedades de um minério de ferro chamado magnetita, encontrado na antiga região de Magnésia, na Ásia Menor.

Comentário

Os gregos antigos ficavam intrigados com o efeito que o minério causava em pequenos fragmentos de ferro (limalha de ferro) quando colocados próximos a ele. Esses fragmentos eram atraídos pelo mineral. Naquela época, esses materiais magnéticos eram considerados algo mágico, pois não existiam ferramentas ou teorias capazes de explicar o fenômeno.

Atualmente, conhecemos esse minério como um ímã natural, e os fenômenos que ocorrem com materiais do tipo são chamados fenômenos magnéticos. Existem ímãs naturais e ímãs artificiais, como veremos no decorrer deste conteúdo.



Fenômenos magnéticos

Desde a descoberta dos fenômenos magnéticos na Grécia Antiga, muitos foram os experimentos feitos para investigar esses fenômenos, conhecidos simplesmente como magnetismo.

No século XVI, o médico inglês William Gilbert desenvolveu ímãs artificiais, tendo feito publicações sobre o magnetismo.

A bússola, já conhecida e usada pelos chineses no século XII, foi o ponto de partida para a primeira descoberta de Gilbert. Ele observou que esses dispositivos sempre apontavam consistentemente em uma direção, alinhando-se ao eixo norte-sul. Isso revelou que o planeta Terra é, de fato, um corpo magnético. Essa descoberta controversa desafiou muitas teorias e mitos existentes sobre a bússola até então.



Bússola sobre mapa.

Tanto a Terra quanto a bússola podem ser considerados ímãs (ou magnetos) e, portanto, produzem fenômenos magnéticos. Ímãs, como aqueles que você coloca na geladeira, são materiais familiares para todos. Sem dúvida, você já manuseou um ímã alguma vez na vida e sabe como ele funciona.

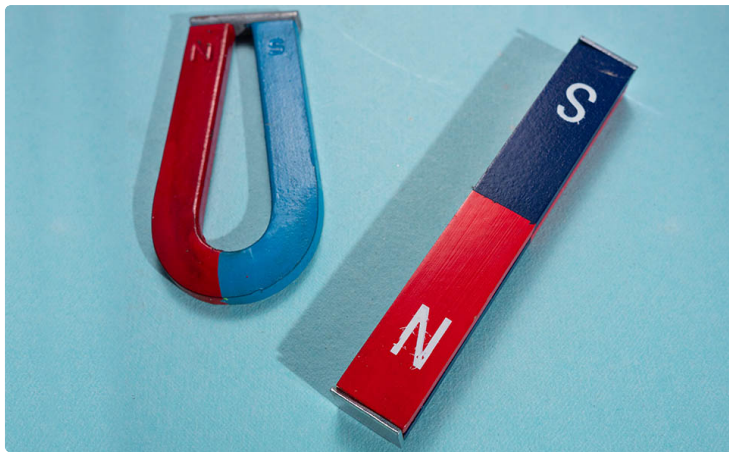


Ímãs presos em porta de geladeira.

O interessante é que o emprego desses materiais, data do início do século XII, sendo usados pelos chineses para auxiliar nas navegações, principalmente em dias nublados.

Você já deve ter reparado que dois ímãs podem se atrair ou se repelir, dependendo de como você os aproxima. Isso é possível porque ímã tem polos magnéticos. E o que são polos magnéticos? Assim como forças elétricas, forças magnéticas existem sem a necessidade do contato. Logo, há um campo magnético em torno de corpos que possuem propriedades magnéticas. Sendo assim, polos de um ímã nada mais são do que as regiões desse ímã que dão origem às forças magnéticas, e assim são as regiões onde o campo magnético é mais intenso.

Aqui estão dois tipos de ímã, um em barra e outro curvado:



Um ímã em barra e outro curvado.

Um ímã tem sempre dois polos, chamados norte e sul. A regra de atração e repulsão é simples!

Polos magnéticos de mesmo nome se repelem e polos magnéticos de nomes diferentes se atraem.

Faça a dinâmica a seguir para compreender na prática a atração e repulsão em ímãs.



Clique e arraste para conectar as imagens!



Tentar Novamente

Verificar

No caso de ímãs curvados, os polos ficam nas extremidades, sendo a **parte curva** magneticamente **neutra**.

Outra propriedade importante dos ímãs é que é **impossível** separar seus polos, ou seja, não existe monopolo magnético. Imagine cortar um ímã bem no centro. A princípio, pode-se pensar que uma metade será

completamente polo sul e a outra completamente polo norte. No entanto, isso não acontece. Veja a animação e entenda!



Demonstração da propriedade de inseparabilidade dos polos.

Note que, à medida que dividimos o ímã em duas partes, de forma espontânea, os pedaços de ímã se polarizam, formando novos ímãs menores.

Comentário

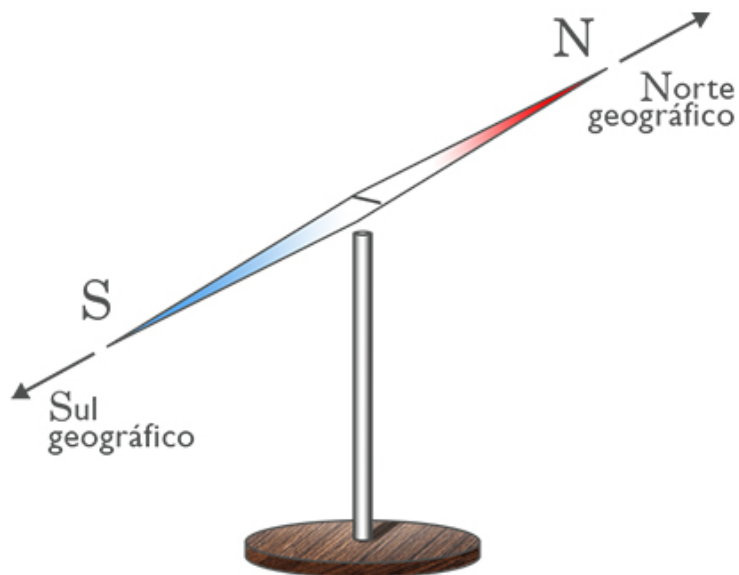
Vale dizer que é uma prática comum pintar os polos de um ímã de cores diferentes a fim de tornar a explicação mais didática.

No exemplo, o polo norte está pintado de vermelho e o polo sul está pintado de azul.

Existem materiais chamados **ferromagnéticos** que se magnetizam significativamente quando expostos a um campo magnético, tornando-se ímãs, sejam eles permanentes ou temporários. No caso dos ímãs temporários, o material mantém sua magnetização apenas enquanto estiver próximo de um ímã ou por um curto período de tempo. Materiais ferromagnéticos, quando não magnetizados, são facilmente atraídos por ímãs.

Funcionamento da bússola

Ao suspendermos um ímã pelo seu centro de gravidade, quando ele atinge o estado de equilíbrio, a direção apontada por ele é a norte-sul geográfica da Terra. Portanto, o polo que está mais próximo apontado para o norte recebe o nome de norte magnético e o que aponta para o sul da Terra, de sul magnético.

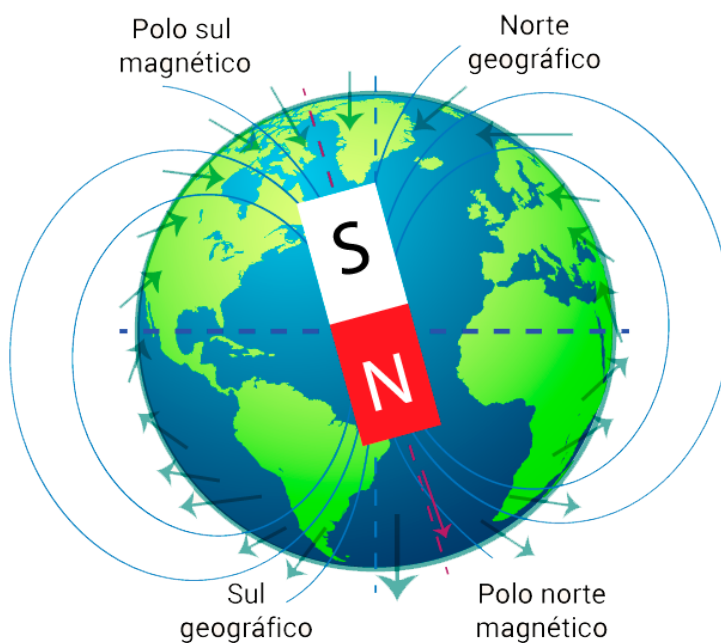


Esquema demonstrando norte e sul geográfico.

Tal propriedade deu origem à bússola, em que um ímã com forma de losango fica dentro de uma caixa onde estão pintados os pontos cardeais e indicam a direção norte e sul da Terra.

Para que haja esse direcionamento do ímã, a Terra necessariamente gera um campo magnético também, ou seja, possui polos magnéticos. Essa propriedade da Terra nos leva a concluir que no sul geográfico do planeta existe um norte magnético e no norte geográfico do planeta existe um sul magnético.

Contudo, na prática, os polos geográficos e os polos magnéticos **não** se encontram exatamente no **mesmo local**, havendo uma deflexão de cerca de **11 graus** em relação a eles. Entenda melhor com a imagem!

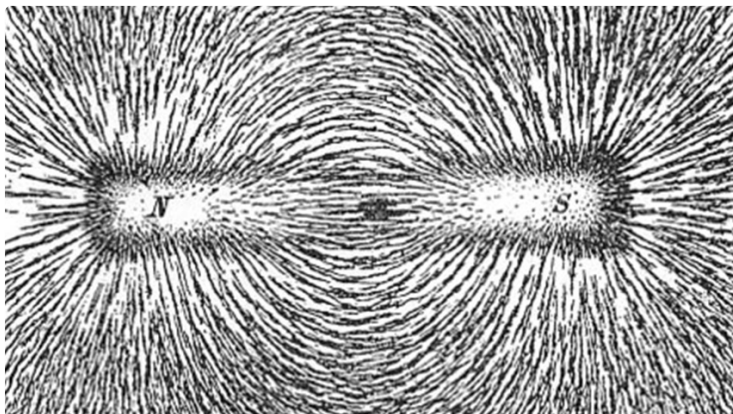


O campo magnético da Terra.

O polo sul magnético encontra-se no norte do Canadá a cerca de 1300 km do polo norte geográfico. Já o polo norte magnético encontra-se na costa do continente antártico.

Campo magnético nos ímãs

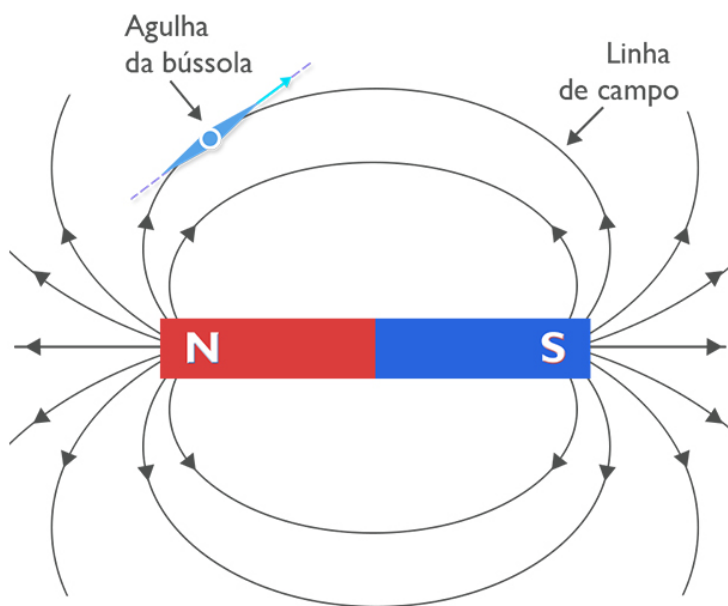
A fim de visualizar o efeito do campo magnético existente ao redor de um ímã, um experimento interessante é espalhar limalha de ferro (ou qualquer pó metálico) próximo ao ímã. Veja o resultado!



Resultado do experimento da limalha de ferro.

Essas linhas formadas são chamadas de linhas de campo magnético e seguem o mesmo conceito das linhas de campo elétrico. Note que as limalhas de ferro se orientam indicando a forma aproximada das linhas de campo. Assim, como nas cargas elétricas as linhas de força saem das cargas positivas e entram nas cargas negativas, as linhas de campo magnético saem do polo norte e entram no polo sul (lembrando que isso é uma convenção).

Podemos dizer também que o vetor campo magnético é sempre tangente a essas linhas de força, no sentido do polo norte para o polo sul. Observe a imagem!



Representação da tangência do campo magnético.

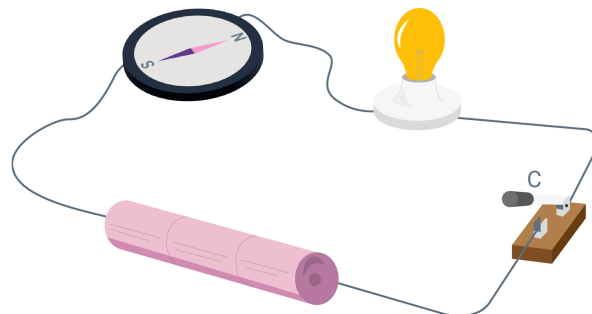
Eletromagnetismo

Origem

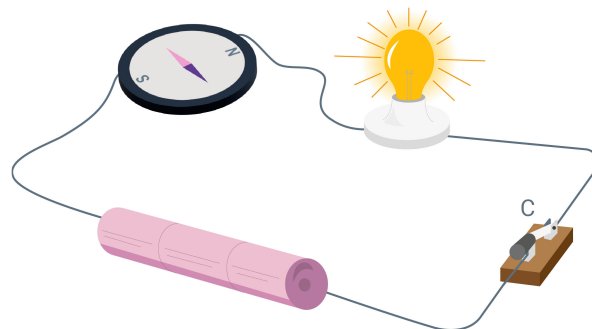
Durante muito tempo, acreditava-se que eletricidade e magnetismo eram dois fenômenos independentes. Essa crença mudou com a publicação dos trabalhos de **James Clerk Maxwell**, em 1873, no qual ele define por meio de quatro equações essa relação.

Já conhecida e difundida, a relação entre a eletricidade e o magnetismo começou a surgir no início do século XIX. Em 1820, o físico dinamarquês **Hans Christian Oersted** notou que, ao ligarmos um circuito elétrico com uma bússola próxima ao fio condutor, a agulha da bússola sofria um desvio, dando assim a primeira dica de que a eletricidade e o magnetismo estavam intimamente relacionados.

Poucos dias depois, o cientista **André-Marie Ampère** forneceu um relato mais detalhado a respeito desse fenômeno observado, constatando que dois fios condutores paralelos, quando submetidos à corrente elétrica, podem atrair ou repelir um ao outro caso as correntes estejam no mesmo sentido ou em sentidos opostos, respectivamente, estabelecendo assim uma base para o eletromagnetismo. Veja e arraste as imagens para acompanhar a ilustração desse fenômeno.



Autor desconhecido: a presente imagem é regida pelos termos do art. 45, inciso II, da Lei nº 9.610/1998. Fica reservado ao autor eventual direito de se manifestar sobre a autoria.



Autor desconhecido: a presente imagem é regida pelos termos do art. 45, inciso II, da Lei nº 9.610/1998. Fica reservado ao autor eventual direito de se manifestar sobre a autoria.

Experimento dos dois fios condutores paralelos.

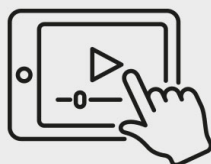
A partir desses experimentos, concluiu-se que condutores percorridos por correntes elétricas influenciam fenômenos magnéticos, como o desvio da bússola ou a atração de fios metálicos. Isso sugere a existência de uma propriedade magnética associada à corrente elétrica. Posteriormente, foi comprovado que correntes elétricas realmente geram campos magnéticos.



Aplicações do eletromagnetismo na engenharia

Neste vídeo, apresentaremos algumas aplicações do eletromagnetismo, incluindo os trens de levitação magnética. Confira!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Campo magnético gerado por corrente elétrica

Vimos que fontes primárias e naturais de campos magnéticos são oriundas dos ímãs. Os experimentos de Oersted e Ampère levaram à conclusão de que cargas elétricas em movimento (ou correntes elétricas) também criam campos magnéticos na região ao redor desse movimento, tornando-se, assim, fontes de campo magnético. Isso levou à formulação da lei de Ampère: um campo magnético é sempre produzido por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável.

As novidades não pararam por aí!

Cerca de um mês depois da descoberta de Oersted, os físicos franceses Jean-Baptiste Biot e Felix Savart realizaram um novo experimento no intuito de definir a influência da corrente elétrica no campo magnético gerado.

Eles fizeram circular uma corrente elétrica em um fio condutor ligado a um circuito fechado, comprovando mais uma vez a relação de proporcionalidade direta entre a corrente elétrica

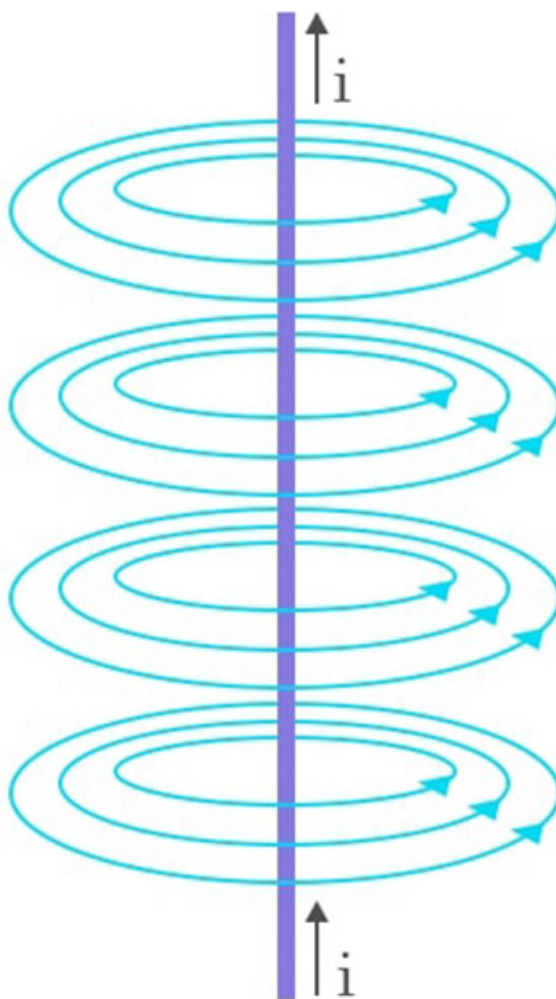
que atravessa o circuito e o campo magnético gerado pelo condutor.

Chegaram à conclusão de que, para determinado ponto do espaço, nas proximidades de um condutor, se aumentarmos a corrente que passa por ele, o campo magnético se torna mais intenso em toda a região que o envolve.

Vamos citar agora alguns tipos de condutores e os tipos de campos magnéticos que eles geram.

Fio retilíneo muito longo

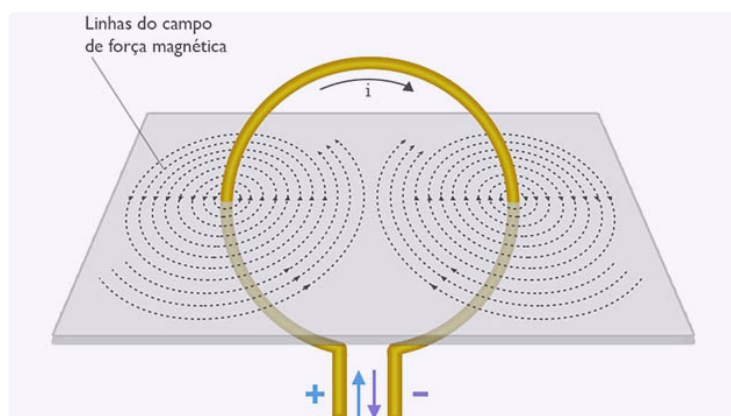
Quando percorrido por corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor. Esse campo forma círculos concêntricos em torno do fio, com a direção determinada pela regra da mão direita: se o polegar aponta na direção da corrente, os dedos indicam a direção do campo magnético.



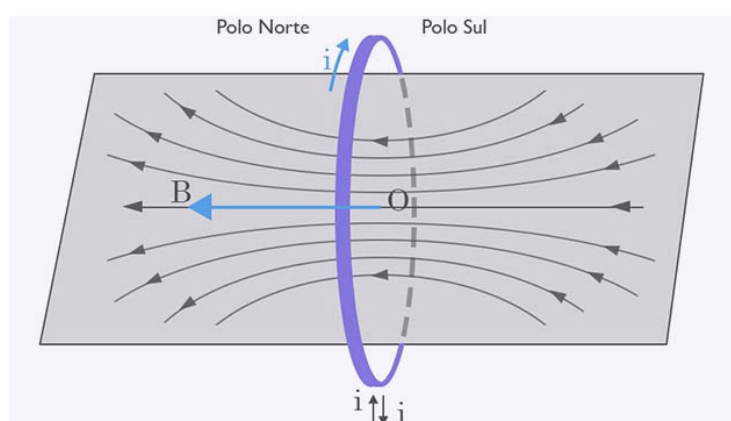
Representação do fio retilíneo muito longo.

Espira circular

Quando percorrida por uma corrente elétrica, gera um campo magnético no espaço ao seu redor. No centro da espira, o campo magnético é mais forte e direcionado perpendicularmente ao plano da espira. Confira!



Representação da espira circular.

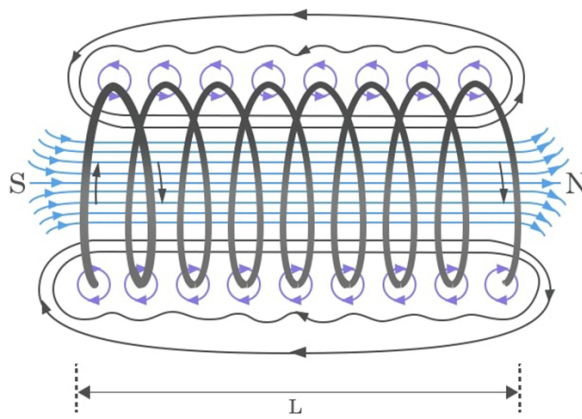


Representação da espira circular.

É importante notar que uma espira, ao gerar um campo magnético, cria dois polos. Isso ocorre porque há linhas de campo saindo (polo norte) e entrando (polo sul) na espira, fazendo com que ela se comporte como um ímã.

Solenóide

Mais conhecido como bobina, é constituído de um fio condutor enrolado em forma de hélice, como se fosse uma mola, cujo comprimento é bem maior que seu diâmetro.



Representação de um solenoide.

Sentido do campo magnético gerado em um condutor

Para obtermos o sentido das linhas de campo (também chamadas de linhas de indução), existe uma regra simples, chamada regra da mão direita.

O polegar da mão direita aponta para a direção e sentido da corrente elétrica no trecho de condutor a ser estudado e, com os demais dedos, ao fechar as mãos envolvendo o condutor, será indicado o sentido das linhas de indução. Veja!



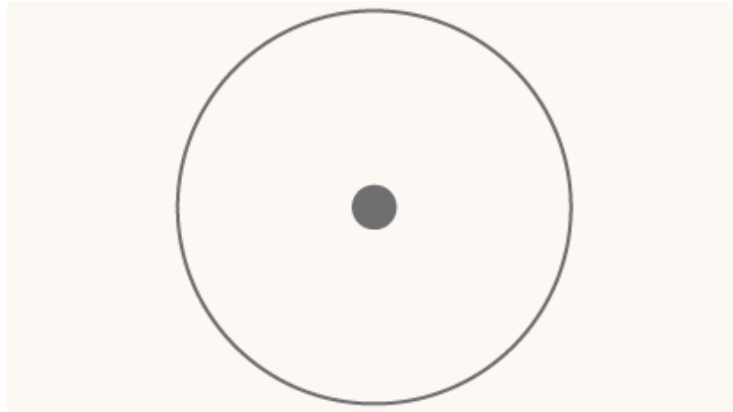
Representação da regra da mão direita.

Faça esta demonstração:

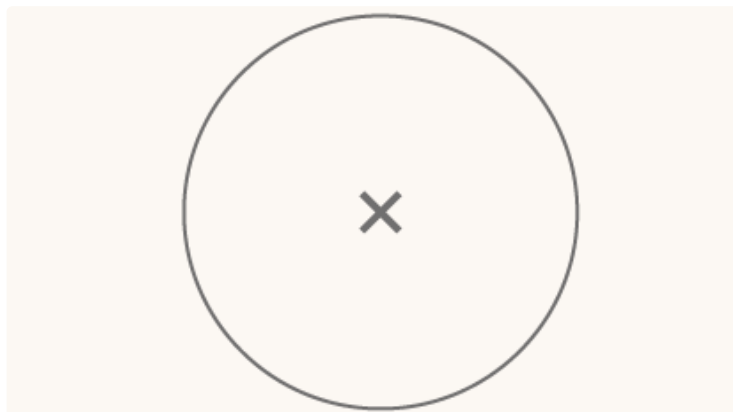
- Pegue uma caneta e suponha que ela seja um condutor reto. O polegar da mão direita indica o sentido da corrente.
- Circulando a caneta com os outros dedos, você terá a direção e sentido do campo magnético.

- Tente verificar a direção e o sentido do campo magnético devido a uma corrente circulando em uma espira e em um solenoide. Utilize a mesma regra!

Em muitas situações relacionadas com eletromagnetismo, não trabalhamos apenas no plano, mas sim no espaço tridimensional. Alguns símbolos para indicar direção e sentido de campo magnético são utilizados. Observe!



Para representar um campo saindo do plano da folha.



Para representar um campo entrando no plano da folha.

Força magnética

Força elétrica em cargas puntiformes

Analisamos, até o momento, o conceito de campo magnético e suas principais formas de geração, tanto natural (ímã) quanto por meio de circuitos elétricos. Mas o que ocorre com um corpo dentro de um campo magnético? Quais fenômenos podemos observar?

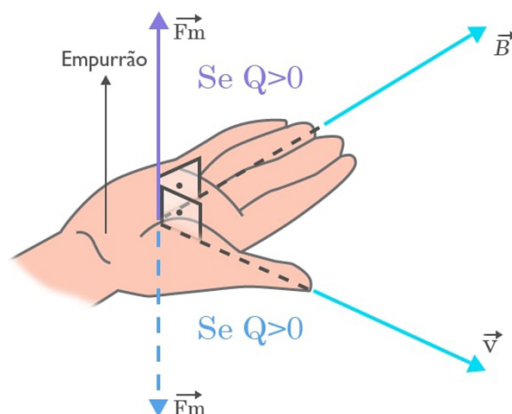
A partir de agora, discutiremos os fenômenos que ocorrem em diferentes corpos dentro de um campo magnético. Primeiramente, abordaremos a força de natureza magnética. Considerando B como o

vetor do campo magnético em uma determinada região do espaço, analisaremos o comportamento de cargas elétricas em um campo magnético e de condutores percorridos por correntes situados nessa região com campo magnético.

Se uma carga elétrica (q) estiver se movimentando com velocidade v em uma região que possui campo magnético (B), ela poderá sofrer a ação de uma força causada por seu movimento. Essa força magnética é dada por:

$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

Em que θ é o menor ângulo entre o vetor campo magnético e o vetor velocidade da carga. O sentido e a direção da força podem ser determinados a partir de uma regra simples, também usando a mão direita. A próxima imagem ilustra essa regra, veja!



Aplicação da regra.

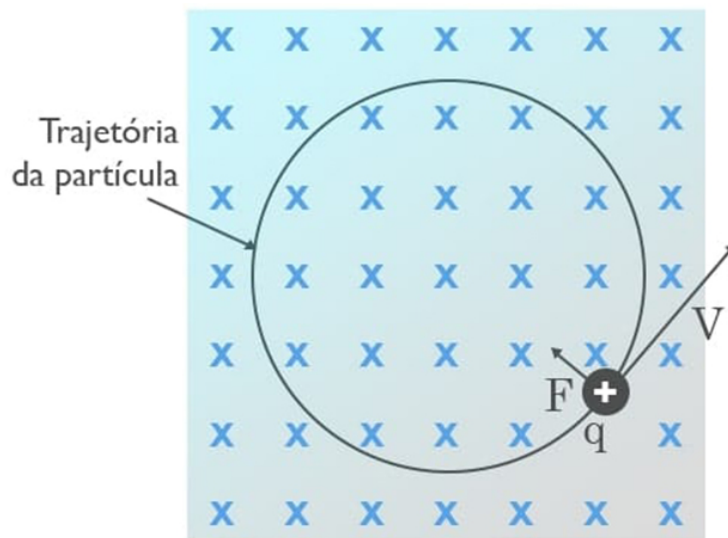
A direção e o sentido da força magnética, que atua sobre uma partícula de carga positiva ($Q > 0$), é a mesma direção e o mesmo sentido em que a mão direita daria um empurrão em alguma coisa, considerando o polegar na direção da velocidade da carga e os outros dedos na direção do campo magnético.

Para a carga negativa ($Q < 0$), o sentido da força é o contrário ao de uma carga positiva com a mesma velocidade e submetida ao mesmo campo magnético.

Atenção!

Cargas elétricas em repouso ($v = 0$) e cargas se movimentando na mesma direção do vetor campo magnético ($\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$) não sofrem ação de força magnética.

Se uma carga estiver em movimento através de uma direção perpendicular ao campo magnético ($\vec{B}$ ($\theta = 90^\circ$)), é possível ver, pela regra da mão direita, que a força magnética será perpendicular ao vetor velocidade a todo instante, ou seja, a carga realizará um movimento circular nessa região. Observe!



Exemplo da carga realizando um movimento circular.



Note que o campo magnético está na direção perpendicular ao círculo e no sentido de fora para dentro da folha de papel, e que a partícula está carregada positivamente, dessa forma:

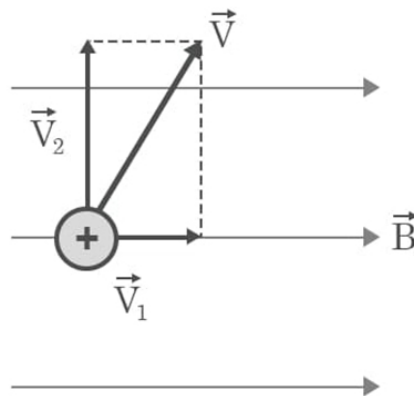
- Pode-se provar que o raio da trajetória é dado por: $R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$;
- E o período da trajetória é dado por: $T = \frac{2\pi m}{|q| \cdot B}$
- Em que m é a massa da partícula.

Movimento de cargas em uma direção oblíqua ao campo magnético:

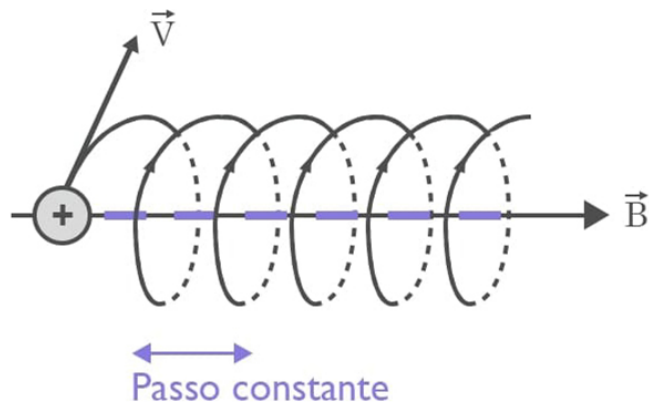
Entende-se como direção oblíqua qualquer direção em que:

$$\sin \theta \neq 0 \text{ e } \sin \theta \neq \pm 1.$$

Logo, a velocidade pode ser decomposta em uma componente paralela ao campo magnético, e outra perpendicular ao campo magnético. Com isso, a carga elétrica realiza uma trajetória em hélice cilíndrica, conforme mostram as imagens.



Vetores da trajetória da carga elétrica.



Trajectoria em hélice cilíndrica da carga elétrica.

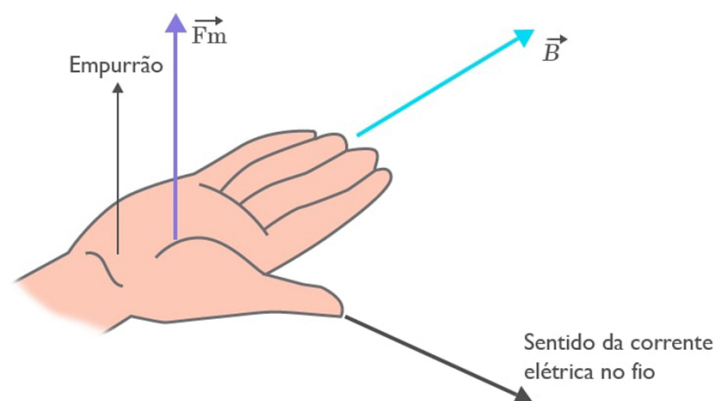
Força magnética atuando em fios condutores

A partir da equação definida para força magnética em cargas puntiformes, temos que, para um fio condutor de comprimento L transportando corrente elétrica (i) dentro de um campo magnético (B), a força magnética é dada por:

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta$$

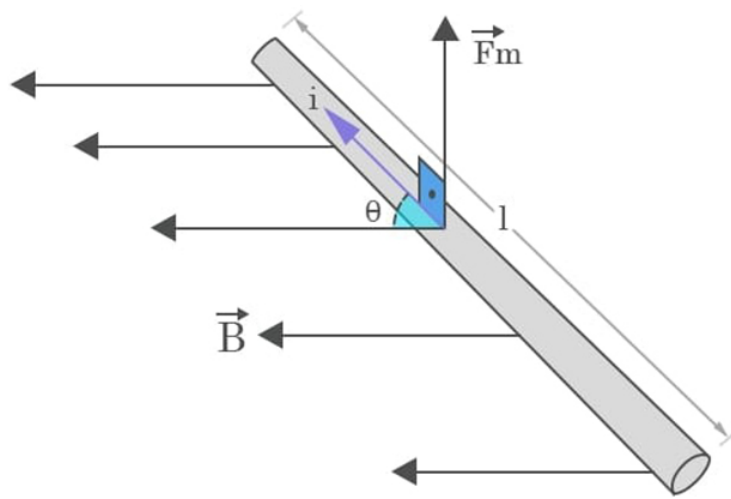
Em que θ é o menor ângulo entre o vetor campo magnético e o sentido da corrente elétrica.

O sentido e a direção da força podem ser determinados a partir da mesma regra utilizada para determinar a direção e o sentido da força em uma carga puntiforme em movimento. Confira!



Aplicação da regra utilizada.

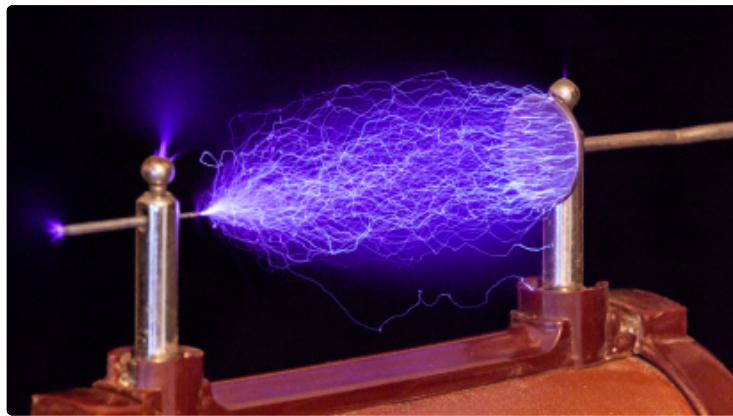
Note que, nesse ponto, pelo sentido convencional, é como se as cargas positivas estivessem se movendo e, com isso, só há um sentido para a força magnética em um fio. Veja o exemplo!



Exemplo do movimento.

Indução eletromagnética

É um fenômeno físico relacionado ao surgimento de uma corrente elétrica devido à variação do campo magnético que atravessa determinada área. Em outras palavras, uma corrente é induzida em um condutor devido à variação do fluxo do campo magnético, o que se denomina indução eletromagnética.



Exemplo de bobina de indução ou bobina de Ruhmkorff.

Essa descoberta é de extrema importância prática, pois permite transformar energia potencial em energia elétrica, como nas hidrelétricas, além de possibilitar o funcionamento de motores elétricos, entre outros usos.

James Clerk Maxwell (com base nos trabalhos práticos de Hans Oersted, Michael Faraday e André-Marie Ampère) utilizou a matemática para dar sustentação às relações entre eletricidade e magnetismo, resultando nas famosas equações de Maxwell, publicadas em 1873. Essas equações demonstraram que o eletromagnetismo é uma força única, ou seja, eletricidade e magnetismo não são fenômenos separados. As equações de Maxwell foram, para Albert Einstein,

consideradas a maior descoberta da física, desde que Isaac Newton explicou a gravidade.

Entre essas equações, destacamos a relacionada à **lei da indução eletromagnética** de Faraday (além da já mencionada Lei de Ampère), que faz as seguintes afirmações. Veja!



Um **campo magnético** é induzido em um condutor quando o campo magnético que o circunda é alterado.



A magnitude desse campo magnético induzido é **diretamente proporcional** à taxa com que varia o campo magnético externo no tempo.

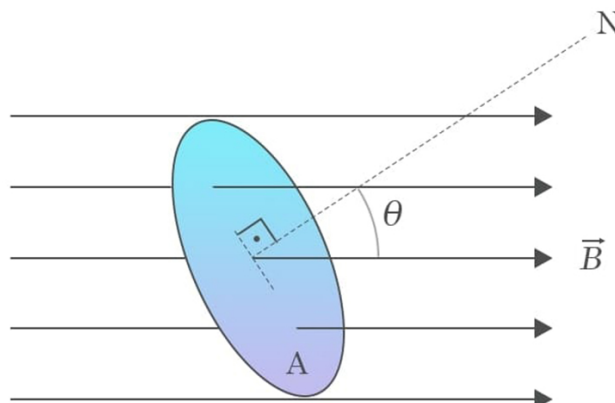


A noção de campo magnético induzido depende da direção da taxa de mudança do campo magnético no tempo.

Para que essas ideias fiquem um pouco mais fáceis de entender, vamos definir alguns conceitos iniciais, começando por fluxo de campo magnético.

Fluxo de campo magnético

Na imagem a seguir, N é uma reta perpendicular ao plano de área A . O fluxo do vetor campo magnético (ϕ) que atravessa essa superfície plana é dado por: $\phi = B.A.\cos\theta$ e sua unidade é o weber (Wb), nome dado em homenagem ao físico alemão Wilhelm Eduard Weber.



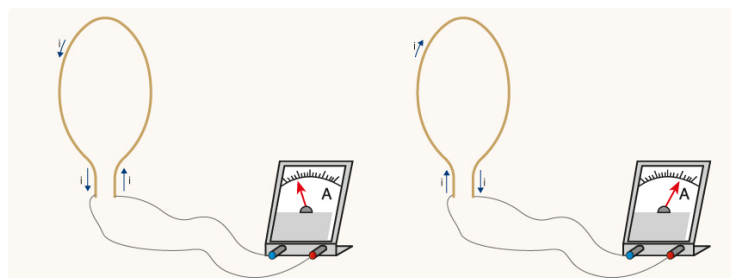
Variação de fluxo de indução

De acordo com o conceito de fluxo do campo magnético, ele pode mudar de maneira independente das seguintes formas:

- Variando a **intensidade** do campo que o atravessa.
- Variando a **área da superfície** que o campo atravessa.
- Variando o **ângulo** entre a reta N e as linhas de campo.

Variação de fluxo causada por variação do campo magnético

Observe o esquema a seguir, em que uma espira circular está conectada a um amperímetro e um ímã é colocado próximo a ela.

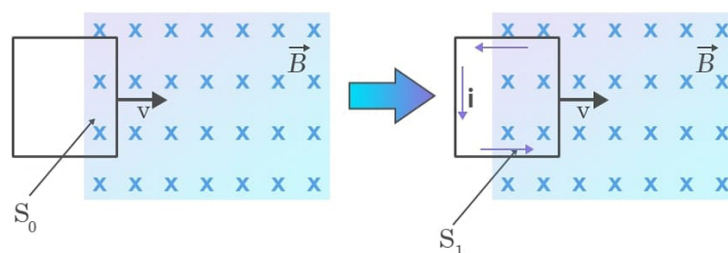


Experimento de variação de fluxo por variação do campo magnético.

Com base nesse experimento, observa-se que ao aproximar o ímã da espira, surge uma corrente nela no sentido anti-horário. Quando o ímã é afastado da espira, percebe-se que o sentido da corrente se inverte. Isso demonstra que, mesmo sem estar conectada a nenhuma fonte de tensão, a variação do campo magnético na espira gerou uma corrente elétrica no condutor.

Variação de fluxo causada por variação de área

Suponha uma espira quadrada e uma região do espaço que possui um campo magnético orientado para dentro do plano da espira.



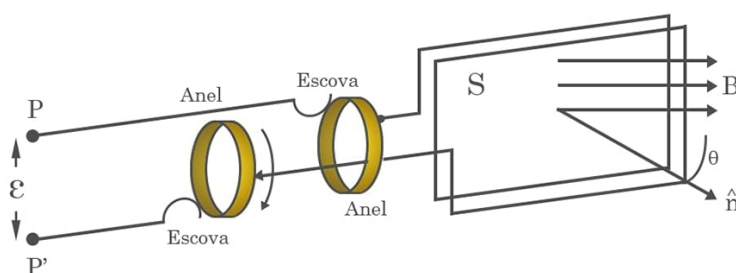
Experimento de variação de fluxo por variação de área.

Enquanto estivermos inserindo (ou removendo) a espira na região com o campo, é notado o surgimento de uma corrente induzida. No entanto, isso só ocorre enquanto a espira se move e se encontra parcialmente imersa na região de campo magnético.

Variação de fluxo causada por variação do ângulo

Suponha espiras retangulares situadas entre dois polos de um ímã e uma ddp ε aplicada de tal forma que faça as espiras girarem.

Como o ângulo está variando a determinada frequência, ocorre uma variação no fluxo que atravessa o sistema, fazendo com que uma corrente induzida senoidal seja induzida no circuito. Confira na imagem a seguir.



Experimento de variação de fluxo por variação do ângulo.

Esse caso, dentre os três tipos de variação de fluxo de campo magnético, está diretamente ligado à formação da corrente elétrica alternada.

Lei de Faraday e Lei de Lenz

A Lei de Faraday é uma forma matemática de como calcular a corrente induzida que aparece em algum sistema elétrico. Ela nos diz que ao variarmos o fluxo em determinada superfície, surge uma tensão induzida. Essa tensão vale:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

O sinal negativo indica que a tensão induzida sempre se opõe ao tipo de variação de fluxo a que o sistema está submetido.

Já a Lei de Lenz afirma que, ao variar o fluxo do campo magnético, surge uma corrente induzida em um sentido que se opõe à variação do campo magnético externo (indutor). Para entender melhor, compare o que ocorre quando o fluxo do campo magnético aumenta ou diminui.

Se o fluxo
começar a
aumentar

Se o fluxo
começar a
diminuir

Surgirá uma corrente induzida que gerará um campo magnético induzido no intuito de se opor a esse aumento de fluxo de campo magnético.



Surgirá uma corrente induzida, criando um campo magnético induzido para evitar que o fluxo diminua. Assim, a natureza se opõe à mudança.

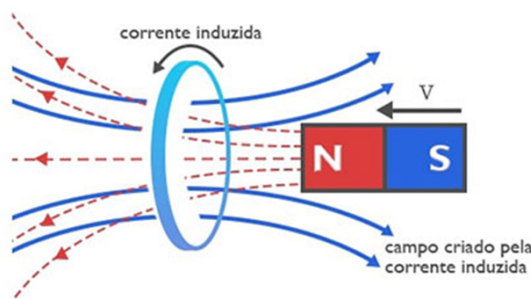
Vejamos alguns exemplos para uma melhor compreensão!

Ímã se aproximando de uma espira



Com as setas vermelhas indicando o campo gerado pelo ímã (campo indutor), e com área e ângulo constantes, à medida que o ímã se aproxima da espira, o fluxo do campo magnético tende a aumentar (maior concentração de linhas de campo magnético).

De acordo com a Lei de Lenz, haverá uma oposição a esse aumento, resultando no surgimento de um campo induzido (em azul) para evitar o aumento do fluxo magnético. Utilizando a regra da mão direita, determinamos que o campo induzido será gerado por uma corrente induzida no sentido anti-horário.

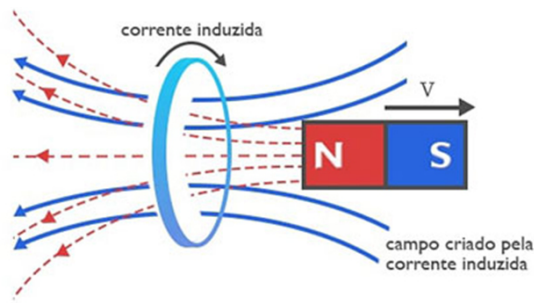


Representação da aproximação do ímã com a espira.

Ímã se afastando de uma espira



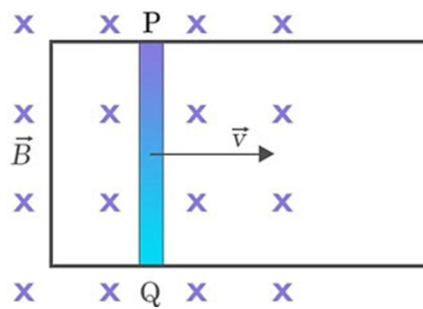
Quando afastamos o ímã da espira, reduzimos o fluxo que passa por ela. Como resultado, uma corrente é induzida para criar um campo magnético induzido, evitando assim a diminuição do fluxo na espira. Para gerar um campo magnético induzido na mesma direção do campo indutor, uma corrente na espira deve surgir no sentido horário.



Representação do afastamento do ímã com a espira.

Indução eletromagnética em barra condutora

À medida que a área em torno do condutor aumenta, há uma tendência de aumento do fluxo magnético. Consequentemente, uma corrente surge para impedir esse aumento, resultando na geração de um campo magnético perpendicular ao plano de movimento, indo de dentro para fora. Seguindo a regra da mão direita, a corrente fluirá no sentido anti-horário, resultando na criação de uma diferença de potencial induzida no condutor.



Representação da indução eletromagnética em barra condutora.

Aqui está um resumo da essência das leis da física. Acompanhe!

Lei de Ampère

Criação de um campo magnético devido à corrente elétrica, ou seja, movimento de cargas elétricas.

Lei de Faraday

Surgimento de uma força eletromotriz induzida (diferença de potencial) devido à variação do fluxo magnético.

Lei de Lenz

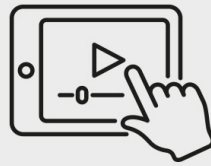
Indicação do sentido do campo magnético produzido pela corrente induzida (Lei de Faraday), que será oposto à variação do fluxo magnético.



Campo eletromagnético - bússola

Neste vídeo, demonstraremos o funcionamento do campo eletromagnético de uma bússola usando um exemplo para facilitar a compreensão. Assista!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Magnetismo

Fique por dentro do assunto magnetismo, entenda força magnética e campo magnético. Vamos lá!

Indução eletromagnética

Entenda como ocorre a indução eletromagnética e explore os fatores relacionados a ela. Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Sejam as afirmações abaixo:

I. Nas regiões próximas aos polos de um ímã natural, há maior concentração de linhas de indução magnética do que em regiões mais afastadas.

II. Ao serrar um ímã em forma de barra transversalmente, obtém-se um pedaço de metal com polo sul e outro pedaço de metal com polo norte.

III. É possível magnetizar determinados metais somente aproximando-o de um ímã permanente.

Quais afirmativas estão corretas?

A I e II.

B I e III.

C II e III.

D I, II e III.

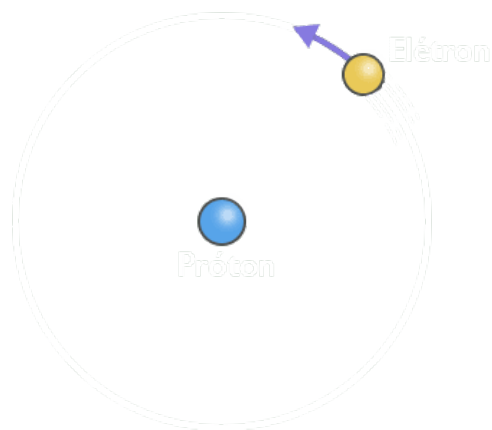
E III.

Parabéns! A alternativa B está correta.

As linhas de campo são mais densas próximas às superfícies dos ímãs, pois essas linhas emergem ou entram no ímã perpendicularmente à sua superfície. Além disso, ao aproximar um ímã de um material condutor, podemos deslocar seus elétrons, polarizando o condutor e criando uma carga negativa em um lado e uma carga positiva no outro.

Questão 2

No modelo clássico do átomo de hidrogênio, um elétron realiza um movimento circular ao redor de um próton, como representa a figura. Considerando o sentido adotado para o movimento do elétron, determine a orientação do campo magnético gerado por ele no centro da circunferência.

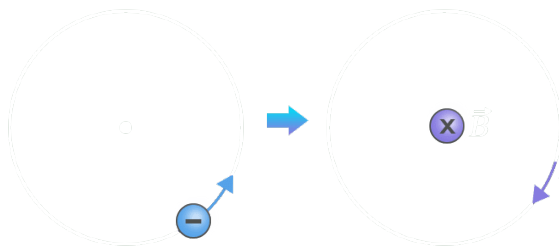


- A Perpendicular ao plano da circunferência, entrando no plano.
- B Perpendicular ao plano da circunferência, saindo no plano.
- C No plano da figura, radialmente, no sentido do centro da circunferência para dentro.

- D No plano da figura, radialmente, no sentido do centro da circunferência para fora.
- E No plano da figura, paralelo ao diâmetro da circunferência

Parabéns! A alternativa A está correta.

Note que o sentido da corrente (convencional) é oposto ao sentido de movimento dos elétrons, com isso, aplicando a regra da mão direita, o campo magnético será perpendicular ao plano da circunferência, apontando para dentro do plano.



Questão 3

(UFRGS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo a seguir.

Quando um ímã é aproximado de uma espira condutora mantida em repouso, de modo a induzir nessa espira uma corrente contínua, o agente que movimenta o ímã sofre o efeito de uma força que _____ ao avanço do ímã, sendo _____ a realização de trabalho para efetuar o deslocamento do ímã.

- A se opõe – necessária
- B se opõe – desnecessária
- C é favorável – necessária
- D é favorável – desnecessária

E é favorável – desprezível para

Parabéns! A alternativa A está correta.

A Lei de Lenz estabelece que, nesse caso, haverá um campo magnético gerado em oposição ao movimento do ímã. Assim, uma força magnética contrária irá atuar, sendo preciso uma força a favor do movimento do ímã para que ele continue entrando na espira. Logo, há a necessidade de realização de trabalho.

Questão 4

Durante um intervalo de tempo de duração igual a $5 \times 10^{-2} s$, uma espira percebe uma redução de fluxo de 5 Wb para 2 Wb . A tensão média induzida na espira vale:

A - 60 V.

B 50 V.

C 60 V.

D - 50 V.

E -55 V

Parabéns! A alternativa C está correta.

$$e = V_{\text{induzida}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{(2 - 5)}{5 \times 10^{-2}} = 60 \text{ V}$$

Pelo fato de ter ocorrido uma redução do fluxo indutor, a tensão induzida é responsável por criar fluxo induzido “a favor do indutor” (Lei de Lenz).

Questão 5

Um próton (carga q e massa m) penetra em uma região do espaço onde existe exclusivamente um campo de indução magnética B , uniforme e constante, conforme a figura. Ao aumentarmos o valor do campo magnético, porém sem alterar seu sentido nem direção, podemos dizer que:



- A A trajetória do próton deixa de ser circular, e passa a ser elíptica;
- B A trajetória do próton se mantém circular, porém com raio maior;
- C A trajetória do próton se mantém circular, porém com raio menor;
- D A trajetória do próton para de ser helicoidal.
- E A trajetória do próton se mantém circular, e com o mesmo raio

Parabéns! A alternativa C está correta.

Como o próton penetra no campo com velocidade perpendicular ao campo magnético, a força magnética será perpendicular à trajetória, gerando uma trajetória circular. Assim, o raio dessa trajetória é dado por $R = \frac{mv}{qB}$

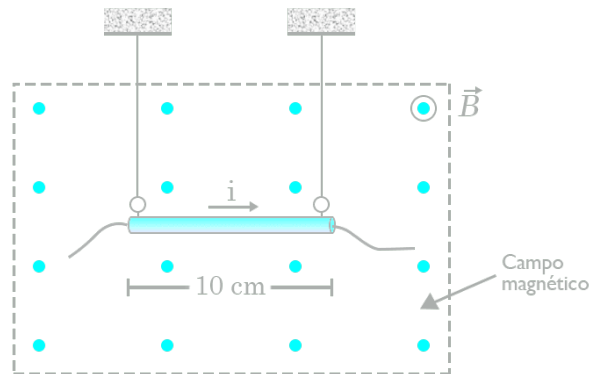
Como o aumento de B , o raio diminuirá.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Questão 6

Um condutor homogêneo de 1,0 kg está em posição horizontal, preso a dois fios inextensíveis e isolantes. Em determinado instante, uma corrente de 2,0 A atravessa o condutor continuamente. O condutor permanece na horizontal mesmo com a corrente passando por ele. Sabendo que o campo magnético se encontra perpendicular ao plano do condutor, no sentido de dentro para fora, e tem módulo constante igual 2 T, a tração em cada fio é igual a:



- A 1,4 N.
- B 2,8 N.
- C 3,6 N.
- D 5,2 N.
- E 6,4 N.

Parabéns! A alternativa D está correta.

Pela regra da mão direita, a força magnética no condutor é vertical e para baixo. Assim, como o sistema está em equilíbrio, o somatório

das forças para cima é igual ao somatório das forças para baixo.
Logo, chamando de P a força peso, F_m a força magnética, e T a força de tração em cada fio, temos:

$$\begin{aligned}P + F_m &= 2T \\mg + BiL \sin \theta &= 2T \\ \sin \theta = 1 \rightarrow T &= \frac{mg + BiL}{2} \\ T &= \frac{10 + 2 \cdot 2 \cdot 0,10}{2} \therefore T = 5,2N\end{aligned}$$

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Considerações finais

Neste estudo, abordamos aspectos relacionados à eletricidade. Exploramos conceitos de eletrostática, incluindo carga elétrica, processos de eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico. Além disso, discutimos o funcionamento de circuitos elétricos resistivos, que são compostos por fontes de tensão e resistores.

Estudamos também os fenômenos magnéticos, com ímãs naturais e artificiais, e fenômenos eletromagnéticos, mostrando que eletricidade e magnetismo, apesar de serem conceitos comumente abordados à parte, não são fenômenos independentes. Comprovamos essa afirmação pelas leis de Ampère, Faraday e Lenz e da apresentação de algumas aplicações no campo da engenharia.



Podcast

Os professores Geraldo Gurgel, Thiago Alvarenga e Gentil Pires exploram o magnetismo, discutindo seus conceitos e oferecendo explicações detalhadas. Ouça e confira!

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Explore +

Confira as indicações que separamos para você!

Assista aos vídeos **A Batalha entre Gênios Thomas Edison X Nikola Tesla** no canal de Bruno Guida e **Linhas do Campo Elétrico - Linhas de Cargas** no canal de Maria Antonieta Almeida, ambos disponíveis no YouTube.

Referências

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica - Eletricidade**. 2. ed. São Paulo: Atual, 1998.

GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B.; HELOU, R. D. **Tópicos da Física**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física 3**. 4. ed. São Paulo: LTC, 1991.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. v.3. Eletromagnetismo. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

ROONEY, A. **A História da Física**. São Paulo: M. Books, 2013.

SADIKU, M. O.; Alexander, C. K. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5. ed. São Paulo: AMGH, 2013.

VISACRO, S. F. **Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia**. São Paulo: Altiber, 2005.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

Download material

O que você achou do conteúdo?



 Relatar problema